

УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

КВАДРАФОНИЧЕСКИЙ УСИЛИТЕЛЬ

В. ГОРЧАКОВ

Квадрафонический усилитель предназначен для высококачественного воспроизведения монофонических, стереофонических и квадрафонических программ от магнитофона, проигрывателя и УКВ тьюнера. Кроме того, в качестве источника сигнала можно использовать любой источник с максимальным выходным напряжением 250 мВ, например электроинструменты.

В усилителе имеется устройство шумоподавления, собранное по системе DNL, с помощью которого можно уменьшить шумы как источника сигнала, так и самого усилителя.

Номинальным входным напряжением на частоте 1 кГц со входов проигрывателя и магнитофона является 200 мВ,

а со входов *C* и *D* — 100 мВ. Максимальные входные напряжения составляют соответственно 250 и 150 мВ. Входное сопротивление по всем входам составляет 100 кОм.

Номинальная выходная мощность в каждом канале при номинальном входном сигнале на нагрузке сопротивлением 4 Ом составляет 25 Вт, а максимальная — не менее 42 Вт. Выходное напряжение на частоте 1 кГц на нагрузке сопротивлением 4 Ом при номинальной мощности составляет 10 В, при максимальной — 13 В. Соотношение выходной мощности в каждом канале при нажатой и отжатой кнопке *«Сброс мощности»* равно 5 : 1. Выходное сопротивление каждого канала усилителя на частоте 1 кГц — не более 0,3 Ом.

Коэффициент нелинейных искажений при номинальной выходной мощности не превышает 0,5%, а при максимальной — не более 1,5%. Полоса рабочих частот по электрическому каналу — не менее 20 Гц — 30 кГц при неравномерности частотной характеристики каждого канала не более 1 дБ. Полоса рабочих частот фронтальных громкоговорителей по звуковому давлению — 40 Гц — 18 кГц (неравномерность частотной характеристики фронтальных громкоговорителей в полосе рабочих частот не превышает 12 дБ). Полоса рабочих частот тыловых громкоговорителей по звуковому давлению составляет 63 Гц — 18 кГц при неравномерности частотной характеристики — не более 15 дБ.

Усилитель имеет сдвоенные регуляторы уровня в стереоканалах *(А* и *В)* и в квадраканалах *(С* и *D)*. Глубина регулировки уровня во всех четырех каналах — не менее 46 дБ. Регулировку баланса во всех четырех каналах осуществляют одним сдвоенным регулятором. Пределы регулировки баланса — не менее ±12 дБ.

Тембр в усилителе регулируют с помощью четырех регуляторов, каждый из которых регулирует тембр в определенной полосе частот. Такая регулировка позволяет более гибко формировать частотную характеристику усилителя по сравнению с регулировкой тембра только по низшим и высшим частотам.

Частоты регулировки тембра в каналах *А* и *В* — 70 и 800 Гц, 4,5 и 12 кГц. Глубина регулировки тембра в этих каналах — не менее ±22 дБ. Выходное напряжение

шумоподавителя при максимальном уровне 250 мВ составляет 150 мВ.

Структурная схема усилителя приведена на рис. 1. Он состоит из блока предварительной обработки сигнала *1*, шумоподавителя *2*, усилителя мощности *3*, блока

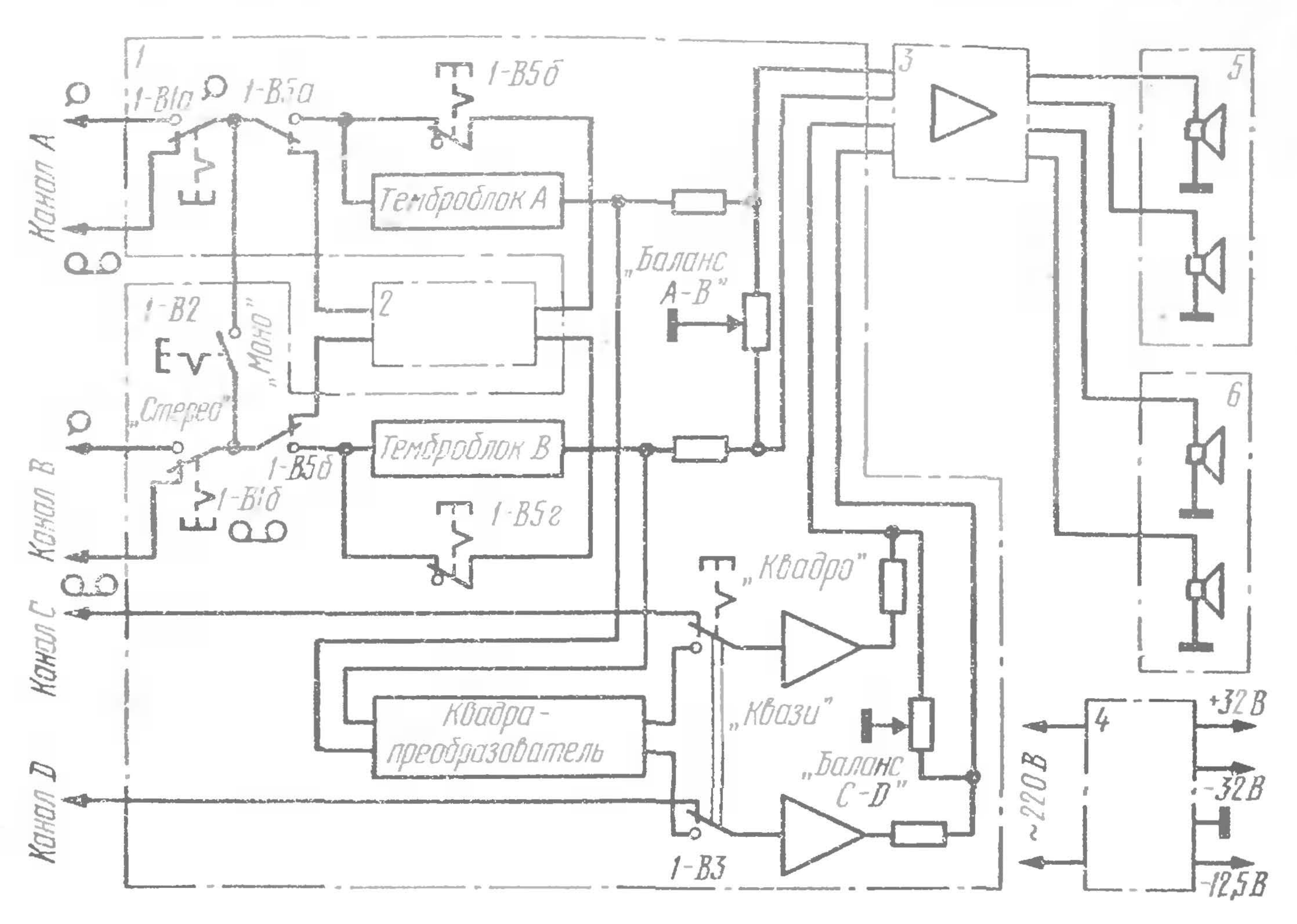


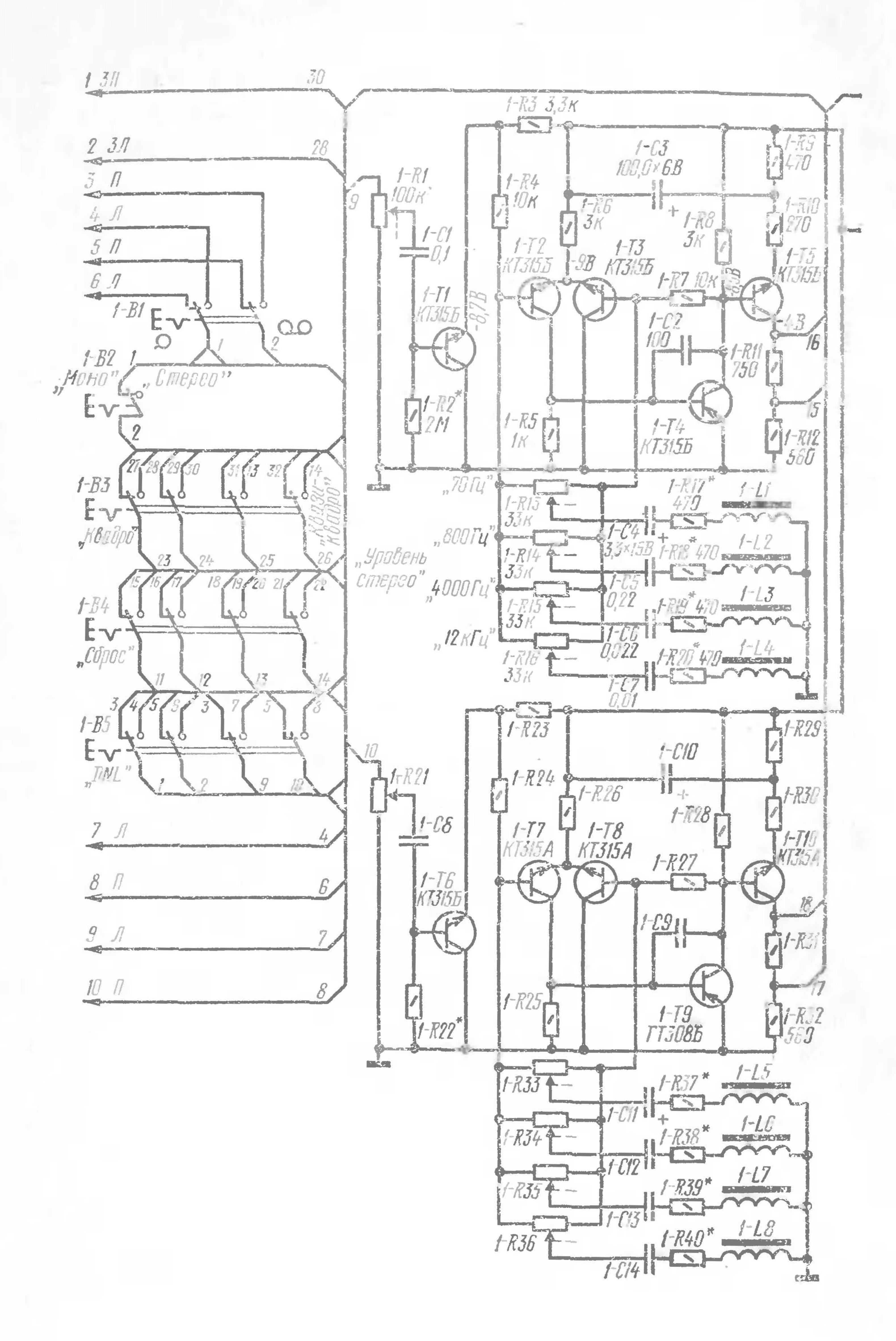
Рис. 1. Структурная схема усилителя

питания *4*, фронтальных и тыловых громкоговорителей *5* и *6*.

Источник сигнала выбирают переключателем *1-В1*. Режим работы *«Моно»* или *«Стерео»* определяется переключателем *1-В2*, а режим *«Квази-квадро»* или *«Квадро»* — переключателем *1-В3*. Шумоподавитель подключают переключателем *1-В5*.

При отключенном шумоподавителе сигнал со входа поступает в блок *1*, затем в усилители мощности, а с них — на громкоговорители. При подключенном шумоподавителе сигнал проходит через шумоподавитель, а затем поступает на вход блока *1*.

В блоке предварительной обработки сигнала осуществляется усиление стерео- и квадрасигналов, регулировка уровня и баланса стерео- и квадраканалов, регулировка тембра стереоканалов. Кроме того в этом блоке из стереосигнала выделяют суммарный и разностный сигналы, необходимые для получения квазиквадрафонии.



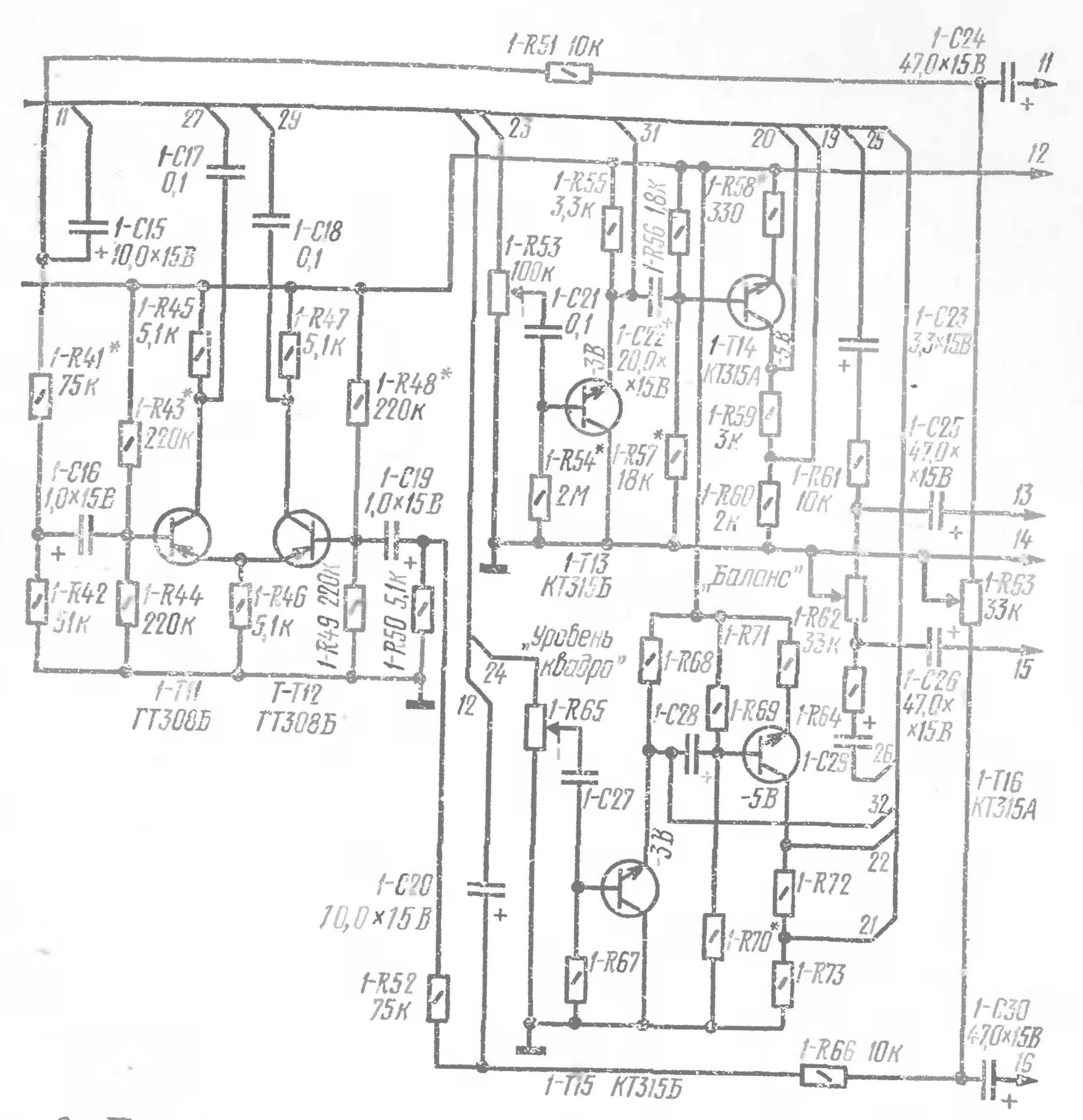


Рис. 2. Принципиальная схема блока предварительной обработки сигнала

В зависимости от частоты и уровня входного сигнала шумоподавитель увеличивает отношение сигнал/шум до 56 дБ. Усилитель мощности представляет собой два двухканальных усилителя.

С блока питания нестабилизированное двухполярное напряжение подается на усилители мощности, а стабилизированное — на блоки *1* и *2*.

Принципиальная схема блока предварительной обработки сигнала приведена на рис. 2. Он состоит из узлов регулировки уровня и тембра сигнала в стереоканалах, квадрапреобразователя, предварительного усилителя квадраканалов, регуляторов баланса стерео- и квадраканалов и коммутирующего устройства.

Входной сигнал поступает на контакты *1—6* блока. Далее через контакты переключателей *1-В1, 1-В3, 1-В5* сигнал поступает на регулятор уровня *1-R1* (для удобства будем рассматривать только один канал *А*), а с него на узел регулировки тембра. За основу темброблока взят блок, описанный в журнале «Радио» (1974, № 5, с. 45—46. Д. Стародуб, «Блок регуляторов тембра высококачественного усилителя НЧ»). Истоковый повторитель на входе в нем заменен эмиттерным повторителем на транзисторе с большим коэффициентом передачи тока. Это позволило получить входное сопротивление каскада не менее 500 кОм. С нагрузки эмиттерного повторителя сигнал через резистор *1-R4* поступает на дифференциальный каскад на транзисторах *1-Т2, 1-Т3*. Каскад охвачен глубокой отрицательной обратной связью как по переменному, так и по постоянному току. За счет этого улучшается термостабильность усилителя и заметно снижаются нелинейные искажения. В базовые цепи транзисторов *1-Т2* и *1-Т3* включены четыре частотноизбирательных делителя напряжения, состоящие из элементов *1-R4 — 1-R7, 1-R13 — 1-R20, 1-С4 — 1-С7, 1-L1 — 1-L4*. В зависимости от положения движков регуляторов тембра (*1-R13 — 1-R16*) колебательные контуры, настроенные соответственно на частоты 70, 800 Гц, 4 и 12 кГц, могут быть подключены либо к базе транзистора *1-Т2*, либо к базе *1-Т3*, а это в свою очередь определяет подъем и спад частотной характеристики в определенной полосе частот.

Каскады на транзисторах *1-Т4* и *1-Т5* являются обычными резистивными усилителями. Конденсатор *1-С2* устраняет самовозбуждение усилителя на ультразвуковых частотах. Нагрузкой транзистора *1-Т5* являются два последовательно соединенных резистора *1-R11* и *1-R12*. В зависимости от положения переключателя *1-В4 «Сброс»* сигнал снимают либо с полной нагрузки, либо с ее части. В последнем случае выходная мощность составляет около 8 Вт при максимальном уровне сигнала на входе усилителя (250 мВ).

Через контакты переключателя *1-В4* и конденсатор *1-С15* сигнал поступает на регулятор баланса стереоканалов (резистор *1-R63*), а затем через конденсаторы *1-С24, 1-С30* — на выход блока.

Напряжение сигнала на выходе блока при максимальном входном сигнале составляет около 0,6 В.

В режиме *«Квази-квадро»* сигналы левого и правого каналов с темброблоков поступают на усилители мощности и, кроме того, на входы квадрапреобразователя. Квадрапреобразователь собран на транзисторах *1-Т11, 1-Т12* по схеме дифференциального усилителя с коэффициентом передачи 1. На входы дифференциального усилителя поступают сигналы левого и правого каналов, а с выходов снимаются разностный и суммарный сигналы. Эти сигналы поступают на предварительные усилители на транзисторах *1-Т13 — 1-Т16*, которые выполнены по одной схеме. Первый каскад представляет собой эмиттерный повторитель, на входе которого включен регулятор уровня квадрасигналов. Второй каскад собран по обычной схеме резистивного усилителя с коэффициентом усиления 7. Регулятор баланса квадраканалов — резистор *1-R62*.

В режиме *«Квази-квадро»* регулировки тембра и уровня, производимые в стереоканалах, изменяют и характеристики квадраканалов.

В режиме *«Квадро»* сигналы с входных контактов блока через контакты переключателя *1-В3* поступают на регуляторы уровня квадраканалов *1-R53; 1-R65*, а с эмиттерных повторителей через контакты того же переключателя — на входы каскадов на транзисторах *1-Т14, 1-Т16*.

Нагрузка каждого из этих каскадов состоит из двух последовательно включенных резисторов *1-R59, 1-R60* и *1-R72, 1-R73*. В зависимости от положения переключателя *1-В4* сигнал снимается либо с полной нагрузки, либо с ее части. Напряжение на выходе квадраканалов при входном сигнале 150 мВ составляет около 0,6 В.

Принципиальная схема шумоподавителя приведена на рис. 3. Он выполнен по системе DNL. Принцип действия такого шумоподавителя основан на динамической фильтрации сигнала. Известно, что с уменьшением громкости относительное содержание высокочастотных составляющих в сигнале уменьшается. Если при слабых сигналах, а так же в паузах, ограничить полосу пропускания канала до 4—4,5 кГц, то это незначительно ухудшит качество звучания, но в то же время высокочастотные шумы, характерные для звукозаписи, будут ослаблены. При увеличении уровня сигнала полоса пропускания расширяется, но одновременно увеличивается

маскирование шумов полезным сигналом. Более подробно система DNL описана в журнале «Радио» № 7 за 1974 г. на с. 60—61 (И. Кудрин, «Устройства шумоподавления в звукозаписи»).

Для того чтобы регулировка уровня и тембра не влияла на режим работы шумоподавителя, его располагают перед темброблоком. В данном случае входной сигнал подается непосредственно на вход шумоподавителя с переключателя *1-В1* через контакты переключателя *1-В5.*

Для получения высокого входного сопротивления первый каскад шумоподавителя собран по схеме эмиттерного повторителя на транзисторе *2-Т1.* Порог срабатывания шумоподавителя устанавливают резистором *2-R1.*

Второй каскад собран на транзисторе *2-Т2* по схеме с разделенной нагрузкой. Сигнал с коллектора транзистора через резистор *2-R22* поступает непосредственно на выход шумоподавителя, а с эмиттера — на активный *RC* фильтр верхних частот с частотой среза около 4,5 кГц, собранный на транзисторах *2-Т3, 2-Т4.*

Каскад на транзисторе *2-Т5* также собран по схеме с разделенной нагрузкой. Сигнал с коллектора транзистора поступает на выпрямитель управляющего сигнала, собранный на диодах *2-Д5, 2-Д6* и конденсаторах *2-С10, 2-С11*, а с эмиттера через резисторы *2-R20, 2-R21* и конденсатор *2-С12* на выход.

На резисторе *1-R1* (см. рис. 2), являющемся в данном случае нагрузкой шумоподавителя, происходит суммирование двух противофазных сигналов. Резистором *2-R22* добиваются равенства амплитуд этих сигналов. Этим обеспечивается максимальное шумоподавление в паузе. Так как цепочка *2-С3, 2-R7* изменяет фазу сигнала на 180° не во всем диапазоне частот, полного шумоподавления получить нельзя.

При малом уровне высокочастотных составляющих сигнала диоды *2-Д5, 2-Д6* будут закрыты. При увеличении уровня они открываются, конденсаторы *2-С10, 2-С11* заряжаются до амплитудного значения напряжения, действующего на коллекторе транзистора *2-Т5.* Диоды *2-Д3, 2-Д4* также открываются и коэффициент передачи делителя *2-R20, 2-Д3, 2-Д4* уменьшается. При уровне сигнала на 35—38 дБ ниже номинального узел дополнительной обработки оказывается практически закрытым.

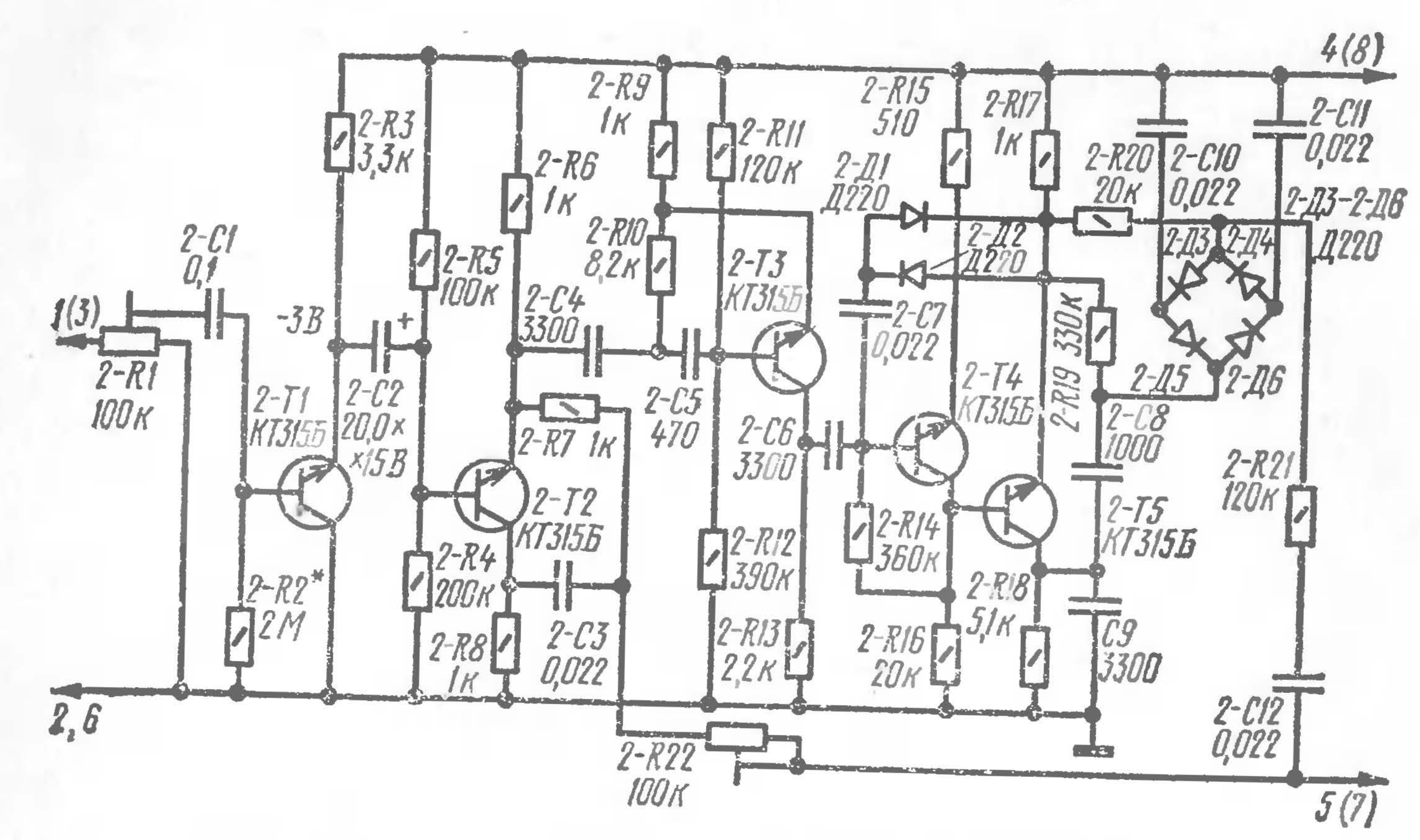


Рис. 3. Принципиальная схема шумоподавителя

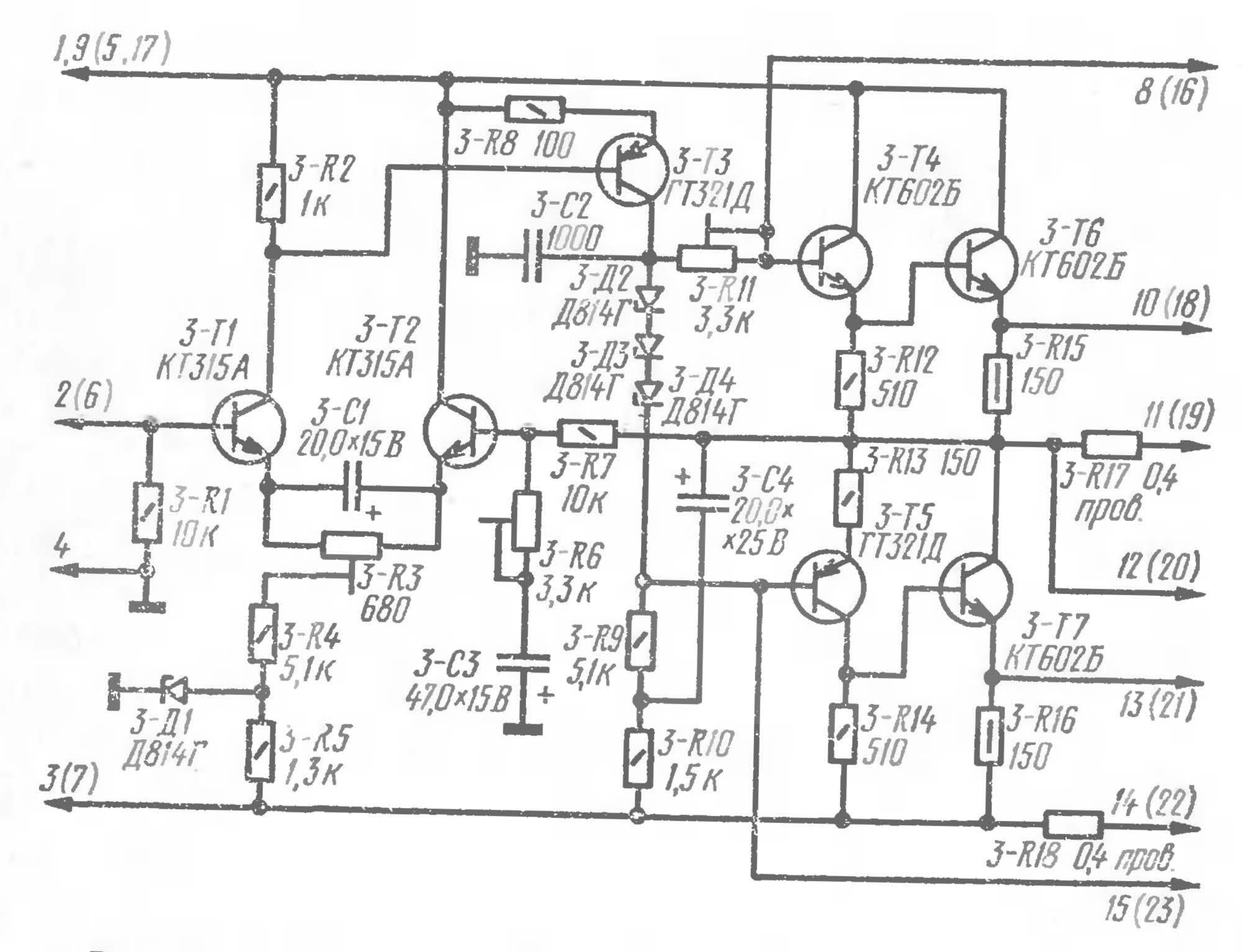


Рис. 4. Принципиальная схема усилителя мощности

2 7—1354

На выход шумоподавителя сигнал проходит только через резистор *2-R22.*

Принципиальная схема усилителя мощности показана на рис. 4. Первый каскад представляет собой дифференциальный усилитель на транзисторах *3-Т1, 3-Т2.* Режим его работы устанавливают подстроечным резистором *3-R3.* Стабилитрон *3-Д1* стабилизирует режим работы каскада. С резистора *3-R2* сигнал поступает на базу транзистора *3-Т3.* В цепь его коллектора включены стабилитроны *3-Д2 — 3-Д4,* обеспечивающие термостабилизацию рабочей точки выходных транзисторов. Конденсатор *3-С2* служит для устранения самовозбуждения на ультразвуковых частотах.

На транзисторах *3-Т4, 3-Т5* собран фазоинверсный каскад. Начальное смещение рабочей точки выходных транзисторов обеспечивает делитель напряжения *3-R11, R1* (см. рис. 7).

Нагрузка подключена к выходу усилителя без разделительного конденсатора, поэтому на выходе усилителя поддерживается нулевой потенциал относительного общего провода. Это достигается глубокой отрицательной обратной связью с выхода усилителя через резистор *3-R7* на базу транзистора *3-Т2.* В дифференциальном каскаде сравниваются потенциалы на выходе усилителя и общего провода. Первоначально нулевой потенциал устанавливают подстроечным резистором *3-R3.* Резистором *3-R6* устанавливают требуемую чувствительность усилителя мощности (0,6 В).

RC цепочки (рис. 5), включенные параллельно нагрузке усилителя, устраняют самовозбуждение усилителя на ультразвуковых частотах.

Совместно с усилителем используются два типа **громкоговорителей**: для стереоканалов — трехполосный закрытого типа (рис. 6, *а*), для тыловых каналов (в режиме *«Квадро»*) — двухполосный (рис. 6, *б*). В первом громкоговорителе расположены четыре головки прямого излучения: две низкочастотных 6ГД-2, одна среднечастотная 5ГД-1 и одна высокочастотная 3ГД-31. Разделение частот осуществляется *LC* фильтрами. Частоты разделения — 600 и 8000 Гц. Затухание, вносимое фильтрами, в полосе непрозрачности составляет примерно 12 дБ на октаву.

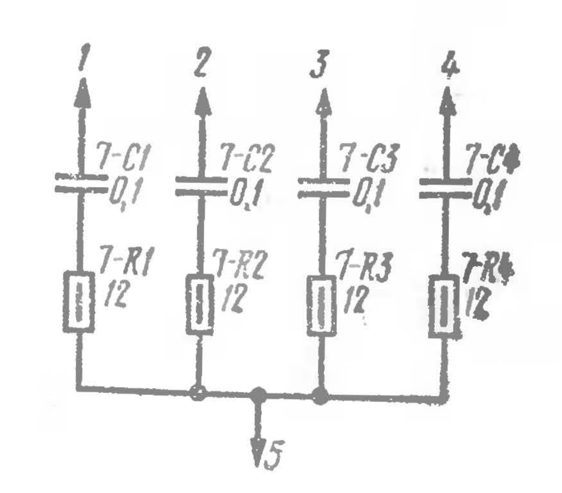


Рис. 5. Принципиальная схема *RC* цепочек, подключаемых к усилителю

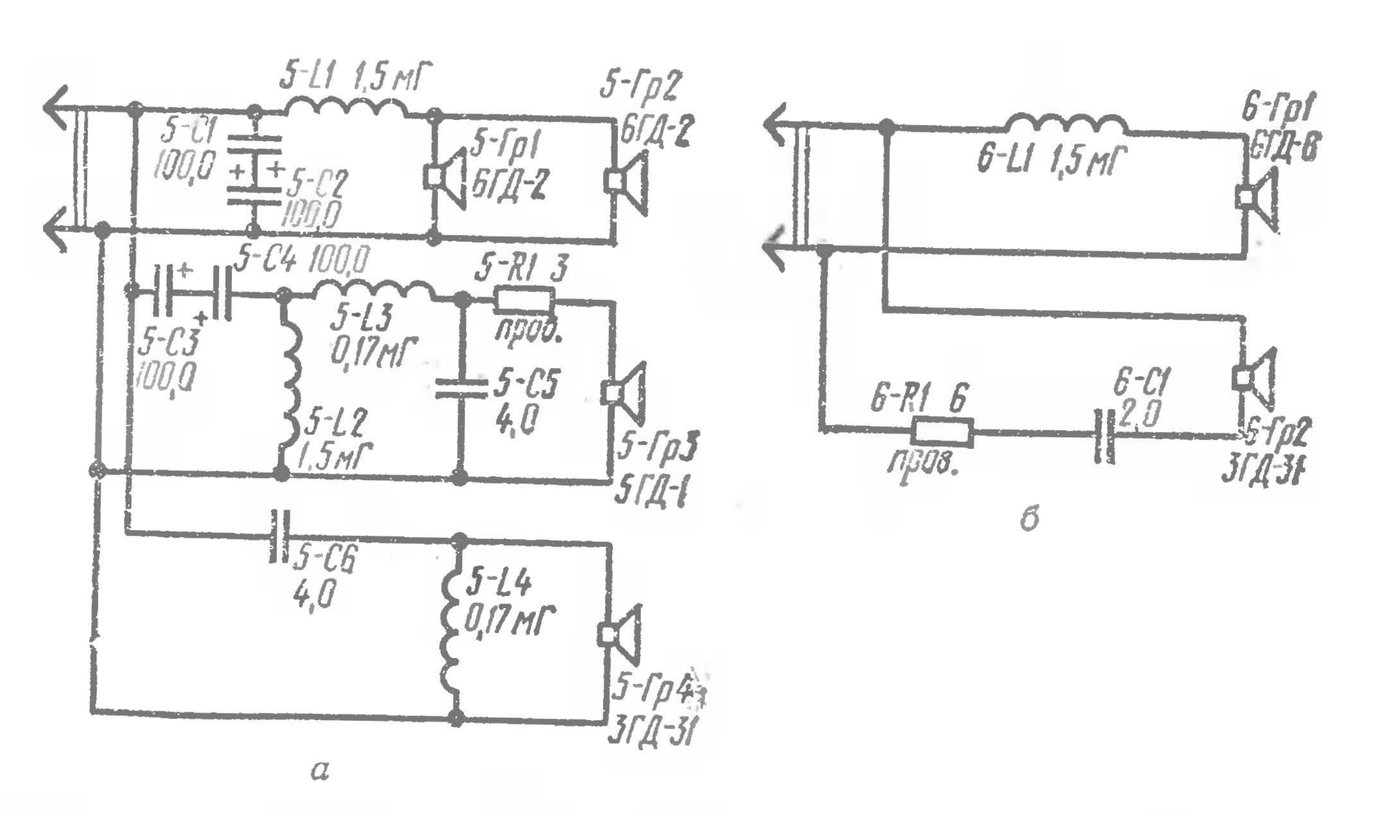


Рис. 6. Принципиальная схема громкоговорителей: *а* — фронтальных, *б* — тыловых

Во втором громкоговорителе установлены головки 6ГД-6 и 3ГД-31.

Принципиальная схема блока питания вместе со схемой соединения узлов усилителя показана на рис. 7. При отсутствии входного сигнала суммарный ток покоя выходных транзисторов всех четырех каналов составляет 140—200 мА (напряжение питания ±32 В). При номинальной выходной мощности напряжение питания равно ±25 В, а при максимальной — ±24 В.

Для защиты выходных транзисторов от перегрузки использованы плавкие предохранители *Пр2 — Пр9.*

Блок предварительной обработки сигнала и шумоподавитель питаются от стабилизованного источника питания (на транзисторе *Т1* собран стабилизатор). Выходное напряжение стабилизатора — 12 В.

2*

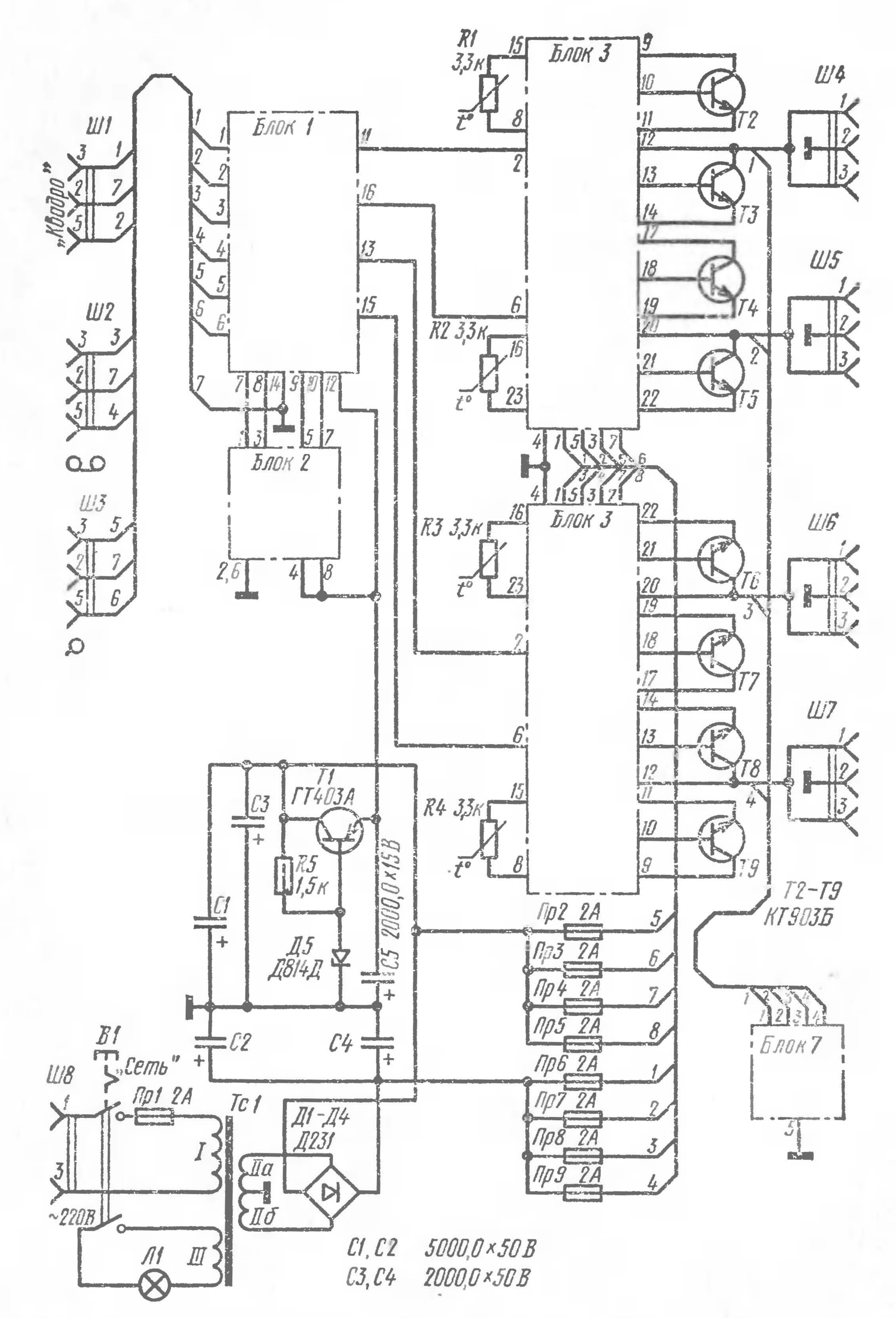


Рис. 7. Принципиальная схема блока питания и схема соединения узлов усилителя

Конструкция и детали. Конструктивно усилитель выполнен по функционально-блочному принципу. Все блоки собраны на печатных платах (рис. 8—11) из фольгированного стеклотекстолита. Переключатели *В1* и *1-В1* установлены на плате блока предварительной обработки сигнала. Контакты этих переключателей экранированным проводом соединены с соответствующими контактными площадками. На этой же плате закреплены регуляторы уровня, баланса и тембра.

Печатные платы блоков за исключением платы блока питания прикреплены к каркасу усилителя, образованного передней панелью и радиатором выходных транзисторов. Передняя панель толщиной 3 мм выполнена из сплава Д16Т. Радиатор для выходных транзисторов выполнен из того же сплава с последующим чернением 25-процентным раствором медного купороса с добавлением поваренной соли.

Между корпусом транзисторов и радиатором проложена лавсановая пленка толщиной 0,05 мм. Фланцы, с помощью которых крепят транзисторы к радиатору, также изолированы. Терморезисторы *R1—R4* запрессованы в радиатор и изолированы от него лавсановой пленкой.

Для защиты усилителя от наводок трансформатор питания закрыт экраном из отожженной стали толщиной 1 мм. К передней панели усилителя прикреплена фальшпанель, изготовленная из дюралюминия Д16Т толщиной 1 мм. Место расположения регуляторов тембра выполнено в виде стандартного поля для частотных характеристик с шагом 5 дБ.

Ящики фронтальных громкоговорителей изготовлены из древесно-стружечных плит толщиной 18 мм. Задняя стенка сделана из фанеры толщиной 12 мм. Для улучшения демпфирования подвижных систем головок громкоговорителей применена панель акустического сопротивления. Суммарная площадь отверстий в ней составляет 300 см^2 (220 отверстий диаметром 12 мм).

Ящики тыловых громкоговорителей выполнены из фанеры толщиной 12 мм и заполнены ватой.

В усилителе использованы постоянные резисторы МЛТ-0,25, переменные СП23б с зависимостью А (регуляторы баланса и тембра), с зависимостью В (регуляторы уровня), подстроечные ОСПО-0,5 (в усилителе

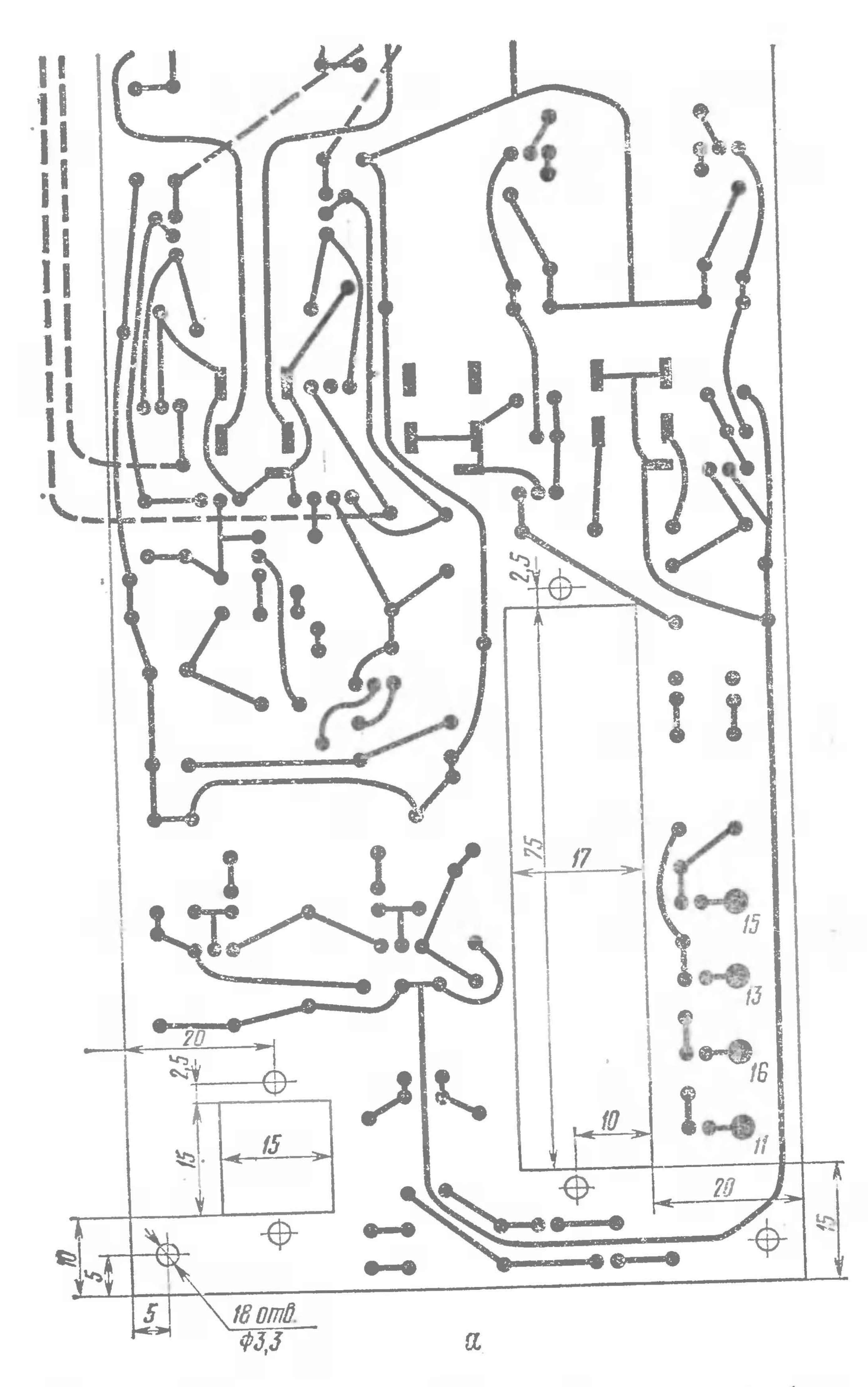
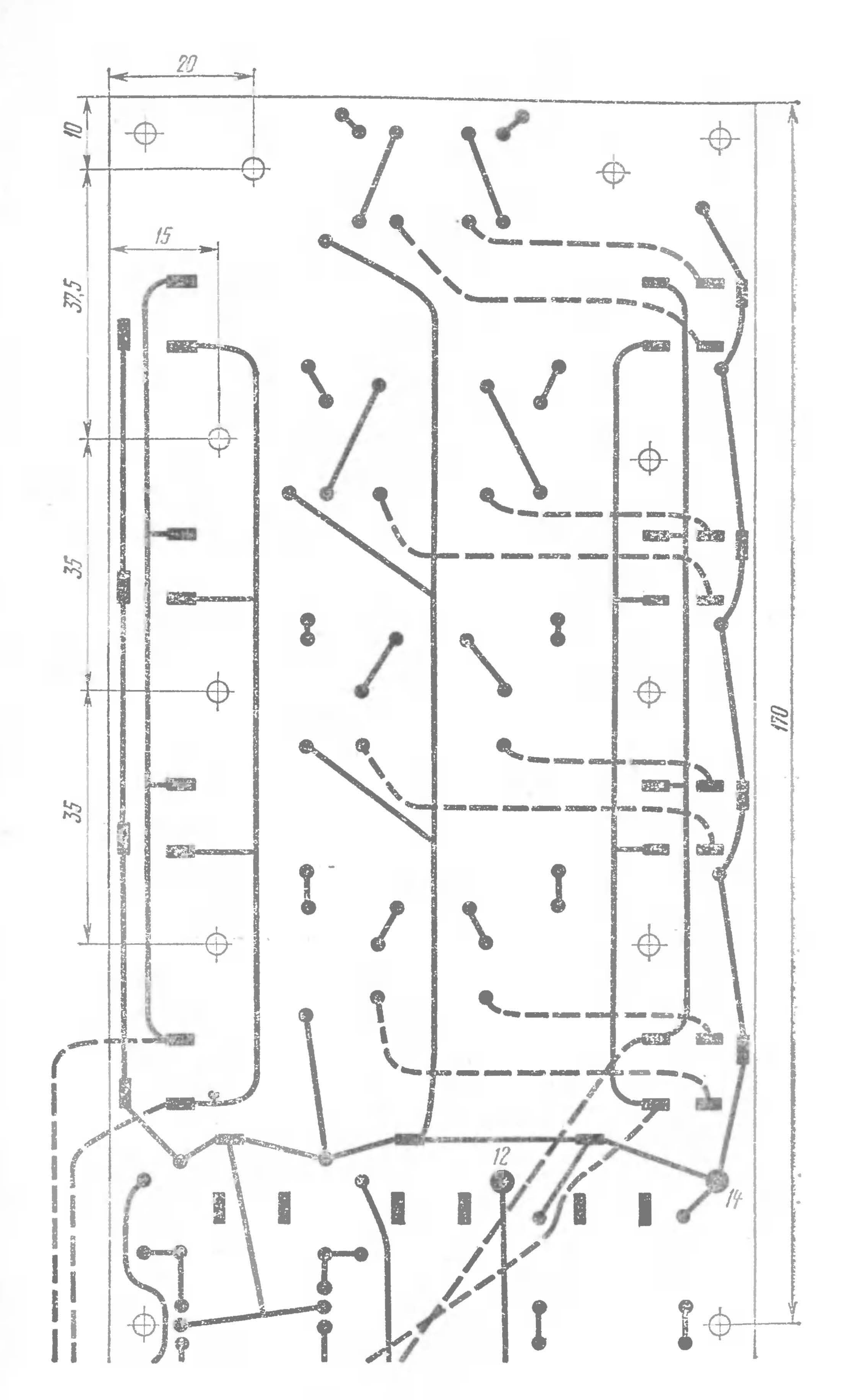


Рис. 8. Печатная плата блока предварительной обработки сигнала



Продолжение рис. 8.

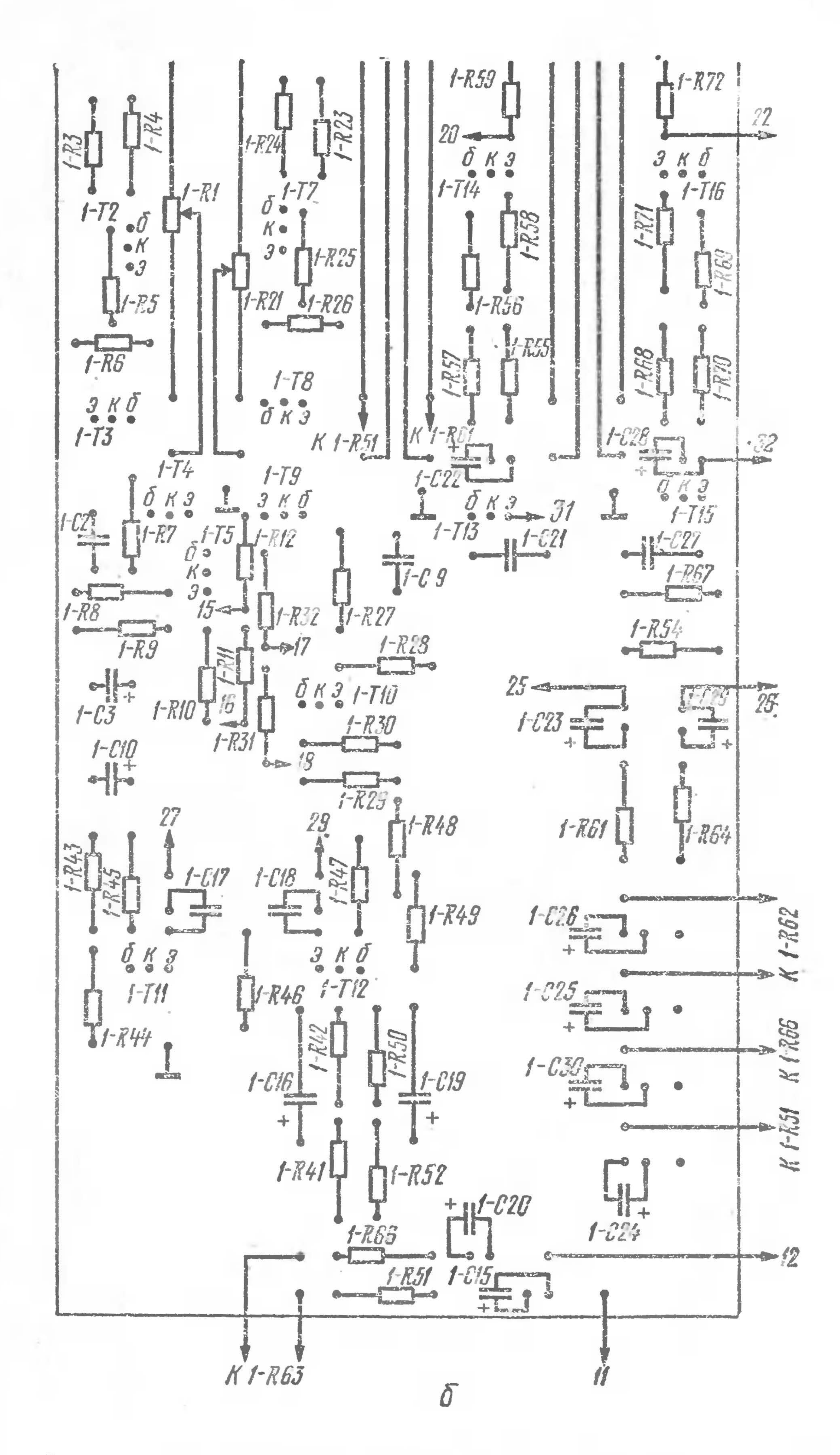
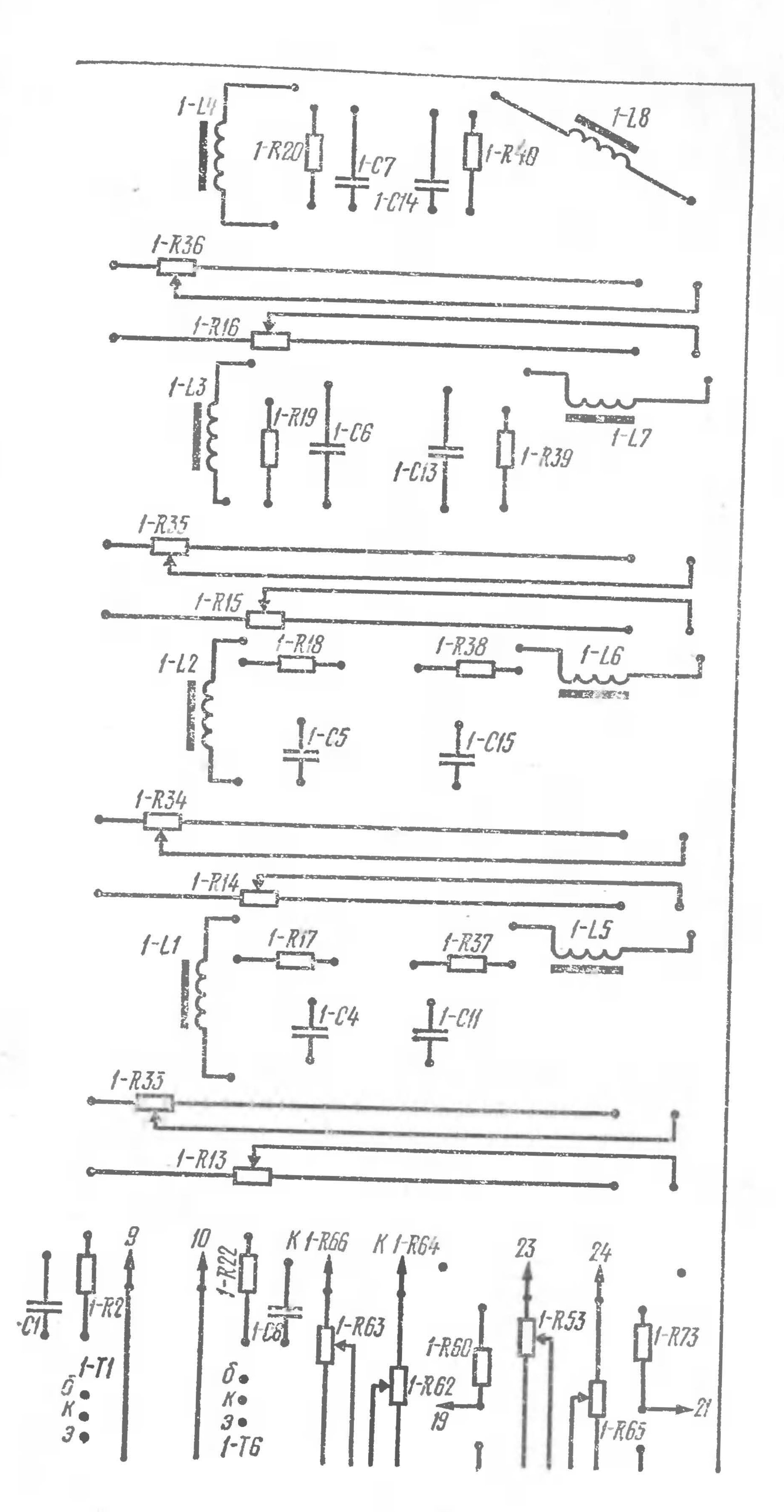


Рис. 9. Расположение деталей блока предварительной обработки сигналов на печатной плате



Продолжение рис. 9.

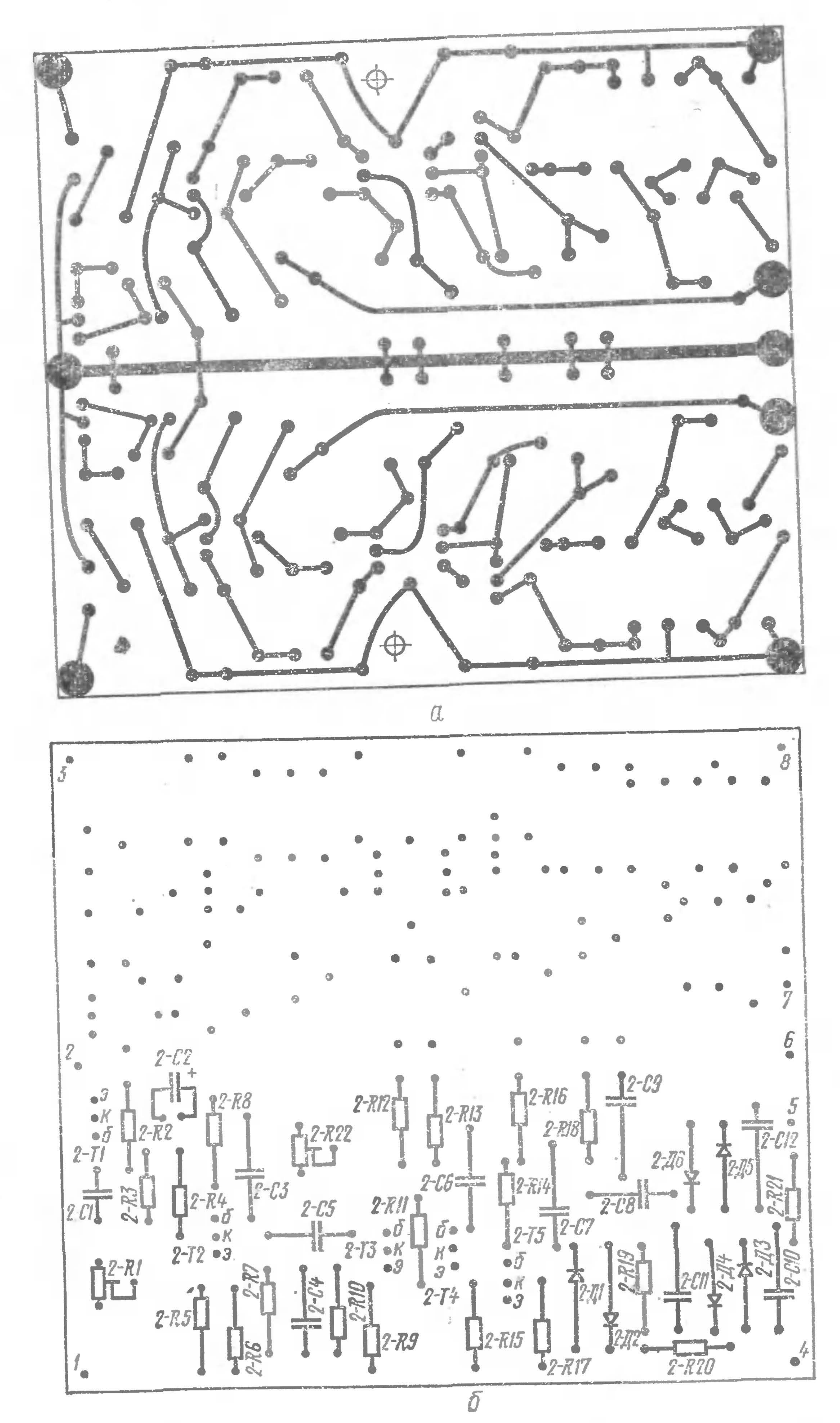


Рис. 10. Печатная плата (*а*) и расположение на ней деталей шумоподавителя (*б*)

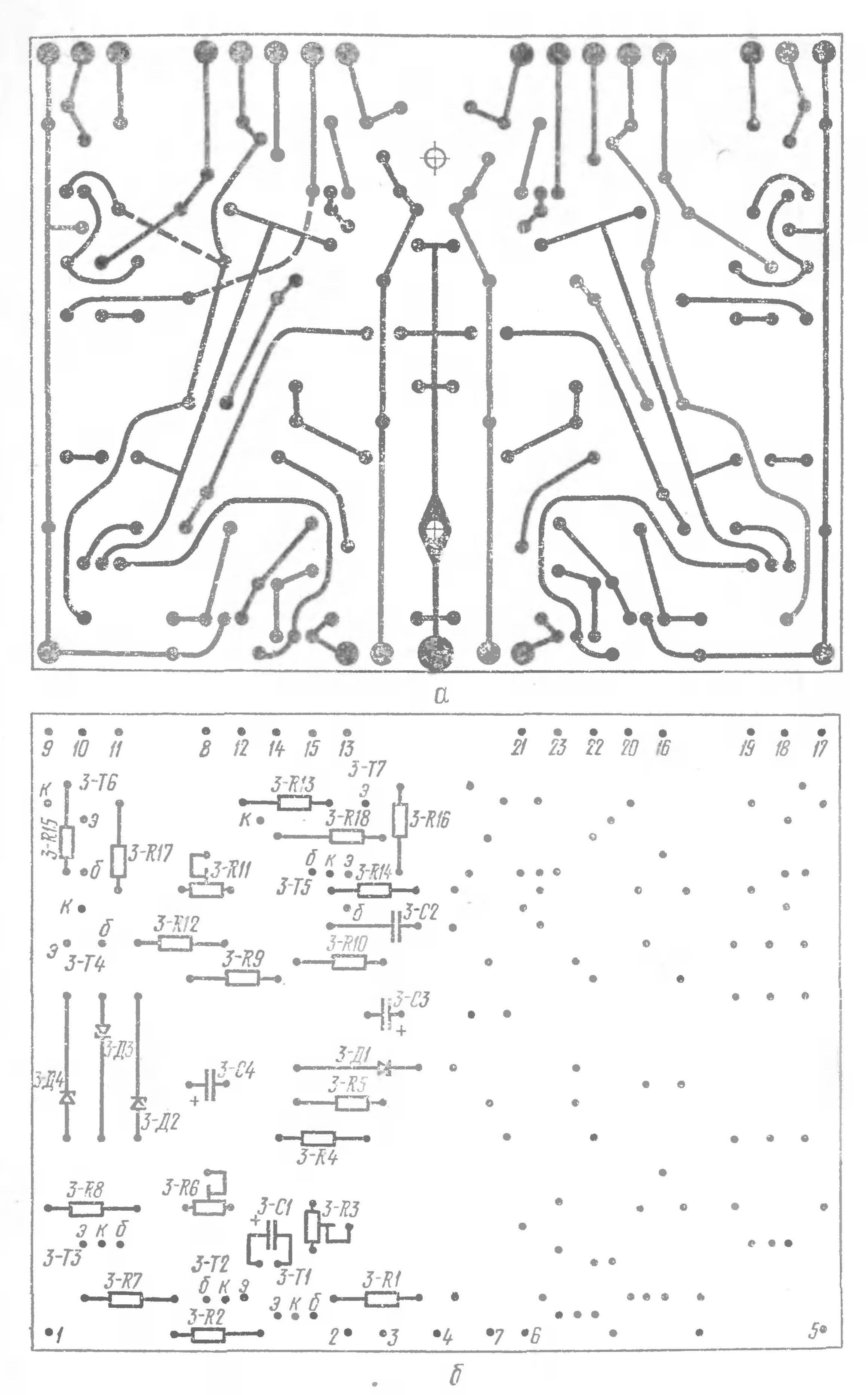


Рис. 11. Печатная плата (*а*) и расположение на ней деталей усилителя мощности (*б*)

мощности). Резисторы *3-R17* и *3-R18* проволочные, намотаны на резисторах МЛТ-1.

Конденсаторы *C1* — *C4* — Tesla TC937а. Остальные конденсаторы К50-6, К53-4, КМ-6, КЛС, К73П-3.

Для того чтобы фазовые сдвиги между каналами *А* и *В*, вносимые шумоподавителем, были минимальны, необходимо подобрать конденсаторы *2-С3* — *2-С11* так, чтобы их емкости в обоих каналах шумоподавителя имели разброс не более 10%.

Диоды Д231 можно заменить на Д214, Д215; Д220 — на КД503А, КД504А, КД509А; стабилитрон Д814Д — на Д813, Д814Б — на любой из серий Д814, Д808—Д813.

Транзистор *Т1* — ГТ403 с любым буквенным индексом (предпочтительнее А). Транзисторы КТ903Б можно заменить на КТ803А, КТ903А, КТ908. Транзисторы подбирают по парам так, чтобы коэффициенты передачи тока и начальные токи коллекторов отличались бы не более чем на 20%. Транзисторы КТ315Б следует брать с коэффициентом $h_{11э}$ 300—350. Их можно заменить на транзисторы КТ342В. Вместо КТ315А можно использовать транзисторы этой же серии с любым буквенным индексом, КТ301Е или серии КТ312. Транзисторы КТ308Б можно заменить на ГТ308А, П416А, П416Б. Вместо ГТ321Д можно использовать любой транзистор этой серии. Транзисторы КТ602Б можно заменить на транзисторы КТ602А, П701, П701А.

Постоянный ток через нагрузку транзисторов *3-Т1* и *3-Т2* не должен превышать 10 мА. Для этого необходимо, чтобы их коэффициенты передачи тока отличались между собой не более чем на 15%, а транзисторов *3-Т4* и *3-Т5*, *3-Т6* и *3-Т7* — не более чем на 20%.

Переключатель *В1* и *1-В1* — *1-В5* — П2К.

Трансформатор питания взят от телевизора «Рекорд-12». Сечение магнитопровода 30×45 мм². Первичная обмотка содержит 612 витков провода ПЭЛ 0,64, вторичная — 2×69 витков провода ПЭВ-2 1,18. Обмотка *III* содержит 15 витков провода ПЭВ-2 0,51.

Катушки индуктивности *1-L1* — *1-L8* намотаны на тороидальных сердечниках из феррита 2000НМ (типоразмер К20×12×6). Катушки *1-L1*, *1-L5* содержат 1250 витков, *1-L2*, *1-L6* — 350 витков, *1-L3*, *1-L7* — 220 витков, *1-L4*, *1-L8* — 90 витков. Для намотки использован провод ПЭВ-2 0,1.

Катушки *5-L1*, *5-L2* содержат 105 витков провода ПЭВ-2 1,16, *5-L3*, *5-L4* — 84 витка такого же провода. Намотка производится на каркасе без сердечника. Катушка *6-L1* выполнена так же, как и катушка *5-L1*.

Налаживание усилителя начинают с проверки блока питания. Параллельно конденсаторам *С3* и *С4* (см. рис. 7) подключают резисторы сопротивлением 200 Ом мощностью рассеивания 5 Вт и измеряют напряжение на выходе выпрямителя. Оно должно быть ±32 В. Напряжение пульсаций не должно превышать 0,5 В. Напряжение на выходе стабилизатора должно составлять 12,5±0,5 В. Налаживание непосредственно усилителя производят в два этапа. На первом этапе настраивают каждый блок в отдельности, а на втором — проверяют параметры усилителя.

Налаживание блока предварительной обработки сигнала начинают с установки резистором *1-R2* режима работы транзисторов темброблока по постоянному току. Затем на вход этого узла с генератора подают сигналы частотой 70, 800 Гц, 4, 12 кГц и подбором конденсаторов *1-С4* — *1-С7* настраивают контуры на эти частоты. После этого подбором резисторов *1-R17* — *1-R20* устанавливают глубину и крутизну регулировки тембра.

Перед налаживанием квадрапреобразователя резисторы *1-R41* и *1-R48* временно заменяют переменными сопротивлениями 120—150 кОм. Резистором *1-R48* устанавливают на коллекторах транзисторов *1-Т11*, *1-Т12* напряжение —7... —8 В. Резистором *1-R41* добиваются того, чтобы при подаче на вход усилителя монофонического сигнала на выходах квадрапреобразователя сигналы были бы минимальными. Затем переменные резисторы заменяют соответствующими постоянными. Подбором резистора *1-R54* устанавливают на эмиттере транзистора *1-Т13* напряжение 2—4 В. После этого вместо резисторов *1-R57* и *1-R58* включают переменные сопротивления 150 кОм и 510 Ом соответственно. Нажатием кнопки *1-В3* переводят усилитель в режим *«Квадро»*. Со звукового генератора на контакт *2* блока *1* подают сигнал частотой 1 кГц и напряжением 0,15 В. Подстраивая поочередно резисторы сопротивлением 150 кОм и 510 Ом, добиваются, чтобы на коллекторе транзистора *1-Т14* был неискаженный синусоидальный сигнал амплитудой 1,4 В. Затем заменяют переменные резисторы постоянными.

Шумоподавитель налаживают следующим образом. Движок резистора *2-R22* устанавливают в среднее положение. К выходу шумоподавителя подключают резистор сопротивлением 100 кОм, а затем на вход шумоподавителя со звукового генератора подают сигнал частотой 1 кГц и напряжением 250 мВ. Резистором *2-R1* устанавливают на выходе шумоподавителя напряжение 150 мВ. Затем на вход шумоподавителя подают сигнал частотой 10 кГц и напряжением 3,3 мВ. Вращая движок резистора *1-R22* добиваются, чтобы сигнал на выходе шумоподавителя не превышал 0,3 мВ. Если получить напряжение менее 0,3 мВ не удается, то необходимо подстроить в небольших пределах порог срабатывания шумоподавителя. После этого резистором *1-R22* добиваются максимального шумоподавления.

Характеристики каналов шумоподавителя (см. таблицу) не должны отличаться между собой более чем на 2 дБ.

Частота, кГц	1	2	3	4,5	6	8	10	12,5	16
Сигнал/шум, дБ	38	38	38	40	43	49	53	56	54

При налаживании усилителей мощности предварительно устанавливают движки подстроечных резисторов *3-R3, 3-R6* и *3-R11* в среднее положение. В качестве нагрузки используют проволочный резистор сопротивлением 4 Ом мощностью рассеивания не менее 25 Вт. Последовательно с ним включают миллиамперметр. Вращая движок резистора *3-R3* устанавливают на выходе усилителя нулевой потенциал. Постоянный ток через нагрузку не должен превышать 10 мА. Затем со звукового генератора подают сигнал частотой 1 кГц и напряжением 0,6 В. Вращая движок резистора *3-R6* добиваются, чтобы напряжение на выходе усилителя было 12,7 В. Форма сигнала должна быть не искаженной. Если имеются искажения типа «ступенька», следует изменить режим работы усилителя резистором *3-R11*. После этой регулировки надо еще раз проконтролировать «нулевой» потенциал на выходе усилителя.

ЭЛЕКТРОНИКА В БЫТУ

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЧАСЫ НА МИКРОСХЕМАХ

Р. МАЙЗУЛЬС

Электронные часы отличаются от часов других систем (механических и электромеханических) повышенной надежностью, точностью хода и удобством отсчета времени. Интерес к разработке электронных часов особенно возрос в связи с быстрым ростом производства и применения интегральных микросхем. Каждая ступень прогресса в технологии интегральных схем — появление схем средней степени интеграции (СИС), больших интегральных схем (БИС) и, наконец, сверхбольших интегральных схем (СБИС) способствует и будет способствовать появлению новых поколений электронных часов. Интегральная технология позволяет значительно повысить надежность работы часов, упростить их изготовление, существенно уменьшить габариты и массу и, в конечном итоге, снизить их стоимость.

В отличие от описанных ранее электронных часов (см. например, «Радио», 1974, № 9, 11; сборник «В помощь радиолюбителю», выпуск 54. М., ДОСААФ, 1976), предлагаемые часы выполнены на микросхемах повышенной степени интеграции, что позволяет существенно снизить трудоемкость их изготовления и увеличить надежность работы. Часы обеспечивают отсчет времени с точностью до 1 мин при нестабильности хода ±0,2 с в сутки. Для отсчета используются цифровые газоразрядные индикаторы ИН12Б. Питаются часы от сети переменного тока напряжением 220 В. Потребляемая мощность 6 Вт (при отключенной индикации 3 Вт). Диапазон рабочих температур — от плюс 5 до плюс 45° С. Часы восстанавливают работоспособность после воздействия предельных температур —40 и +60° С при относительной влажности 65%, а также после воздействия предельной степени влажности 95% при температуре 25° С.

Структурная схема часов приведена на рис. 1. Кварцевый задающий генератор *1* формирует последовательность импульсов с частотой следования 166,666 кГц. Эта

частота понижается последовательно включенными делителями частоты *2* и счетчиками минутных *3* и часовых *4* импульсов. Делитель, коэффициент деления которого равен 10^7, формирует импульсы с периодом следования 1 мин. Эти импульсы, в свою очередь, подаются на счетчик минутных импульсов с коэффициентом пересчета 60.

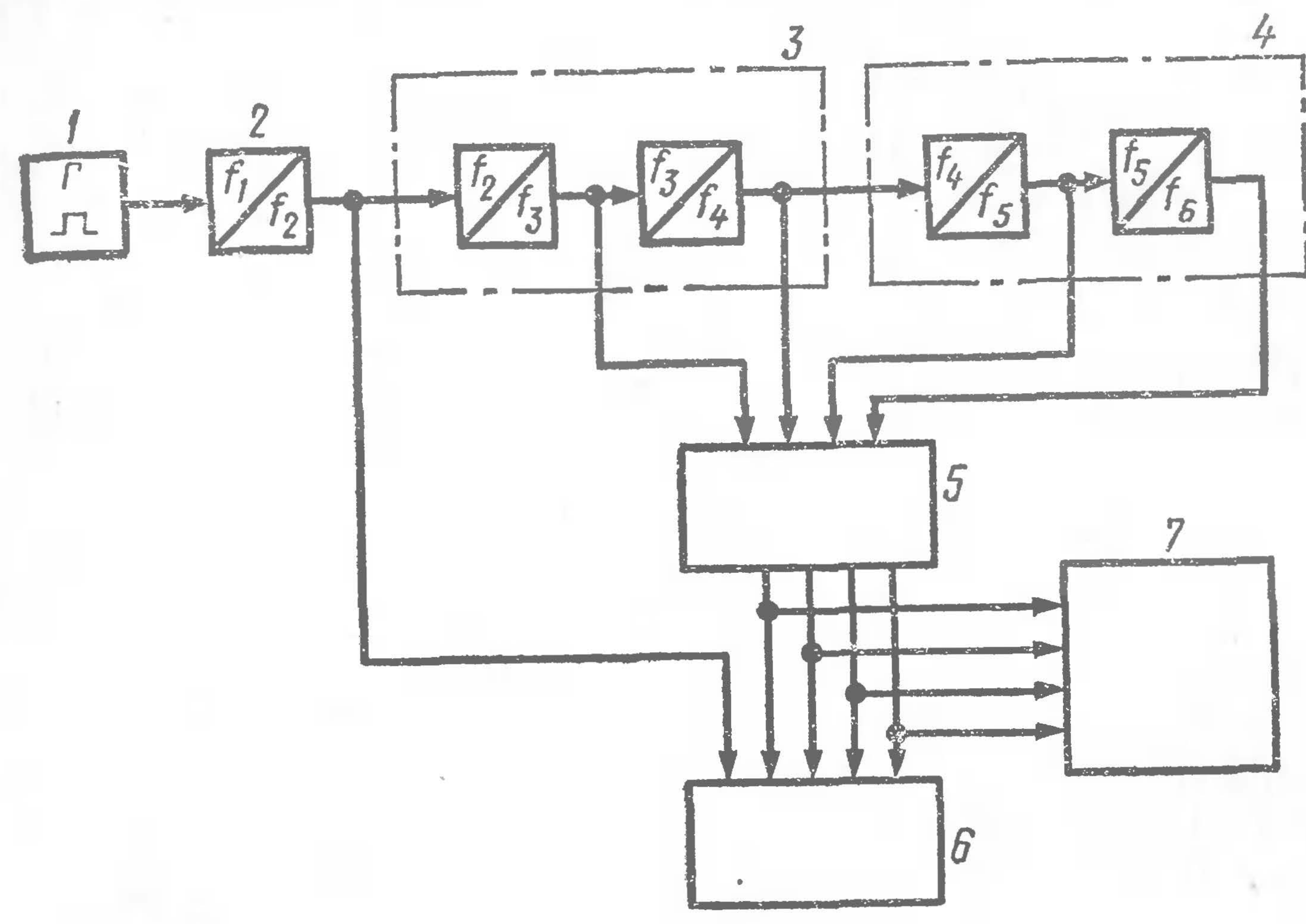


Рис. 1. Структурная схема электронных часов

Сформированные этим счетчиком импульсы (их период следования равен одному часу) поступают на вход счетчика часовых импульсов, коэффициент пересчета которого равен 24. На выходе последнего формируются импульсы с периодом следования, равным одним суткам. Кодовые комбинации импульсов со счетчиков *3* и *4* поступают на дешифратор *5* и управляют через него работой ламп в блоке индикации *6*, а также в определенный момент включают узел звуковой сигнализации *7*.

Принципиальная схема электронных часов приведена на рис. 2. Задающий генератор выполнен на транзисторах *Т1 — Т3* (все они входят в сборку транзисторов К2НТ171). Генератор собран по схеме автоколебательного мультивибратора с эмиттерной связью на транзисторах *Т1* и *Т2*. Частота колебаний мультивибратора стабилизирована кварцевым резонатором *Пэ1*, включенным в одну из цепей обратной связи. Для повышения

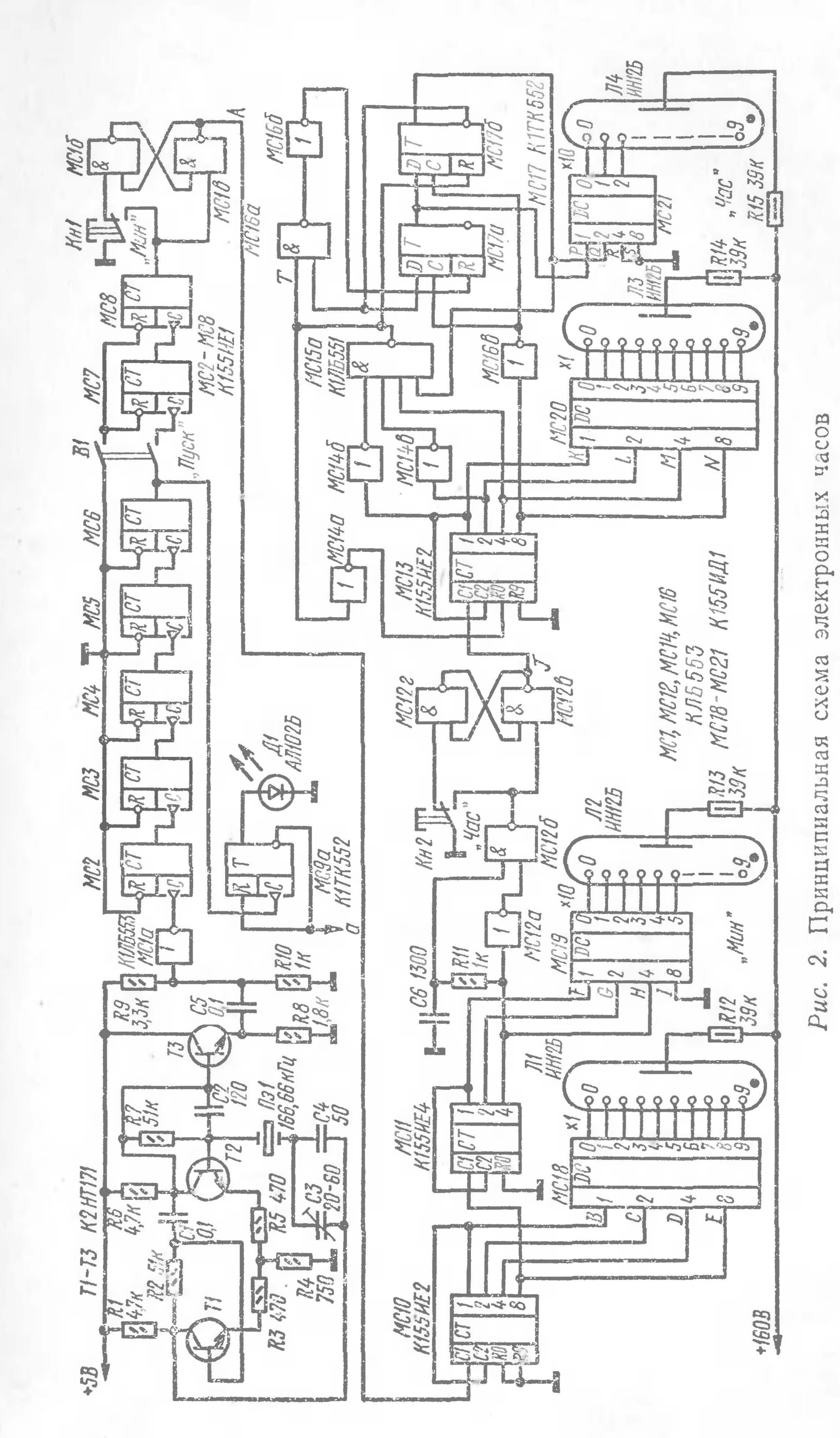


Рис. 2. Принципиальная схема электронных часов

температурной стабильности частоты генератора резисторы, входящие в него, должны быть БЛП или УЛИ. Последовательность импульсов с выхода мультивибратора через буферный эмиттерный повторитель на транзисторе *T3* и инвертор *MC1a* подается на делитель частоты.

Делитель частоты выполнен в виде семи последовательно соединенных декадных счетчиков (*MC2*—*MC8*) с фазоимпульсным представлением информации. Каждый из них считает поступившие на его вход импульсы и пропускает на выход лишь один из десяти импульсов. С уменьшением частоты следующими счетчиками длительность импульса на выходах счетчиков остается неизменной, такая же, как и на входе первого из них.

С выхода счетчика *MC8* через инвертор *MC1б* узкие положительные импульсы с периодом следования, равным 1 мин (*A*), поступают на счетчик минутных импульсов, который в свою очередь состоит из декадного счетчика *MC10* и счетчика *MC11* с коэффициентом пересчета, равным 6. Счетчик *MC10*, считающий единицы минут, выполнен на основе двоично-десятичного счетчика К155ИЕ2. Триггерные разряды счетчика (*B, C, D, E*) в процессе счета переключаются в соответствии с одной из разновидностей двоично-десятичного кода — кодом 1-2-4-8 от отрицательных спадов минутных импульсов (рис. 3, *а*).

Счетчик *MC11*, считающий десятки минут, выполнен на основе счетчика-делителя на 12 (К155ИЕ4). Его разряды (*F, G, H, I*) переключаются в соответствии с кодом 1-2-4-6 от отрицательных спадов импульсов, поступающих со счетчика единиц минут (*E*).

Как видно из рис. 3, *а* и *б*, в интервале чисел 0—5, в котором работает счетчик *MC11*, комбинации кодов 1-2-4-8 и 1-2-4-6 совпадают.

На счетчик часов импульсы, период следования которых равен одному часу, поступают через узел укорачивания, выполненный на инверторах *MC12а* — *MC12в*. Укорачивание необходимо для безошибочной работы часов в режиме установки любого наперед заданного начального времени. С выхода счетчика *MC11* на вход узла укорачивания поступает импульс положительной полярности (*H* на рис. 3, *б*). На входы инвертора *MC12б* поданы взаимно-инверсные импульсы со входа и выхода инвертора *MC12а*. При этом первый из них задержан

интегрирующим *RC*-звеном и в статическом режиме сигнал на выходе инвертора *MC12в* равен нулю. Единичный уровень на выходе (*J*) появляется лишь тогда, когда сигнал на входе переходит из «1» в «0», т. е. в момент спада импульса (*H*), и удерживается до тех пор, пока происходит разряд интегрирующего конденсатора *C6*.

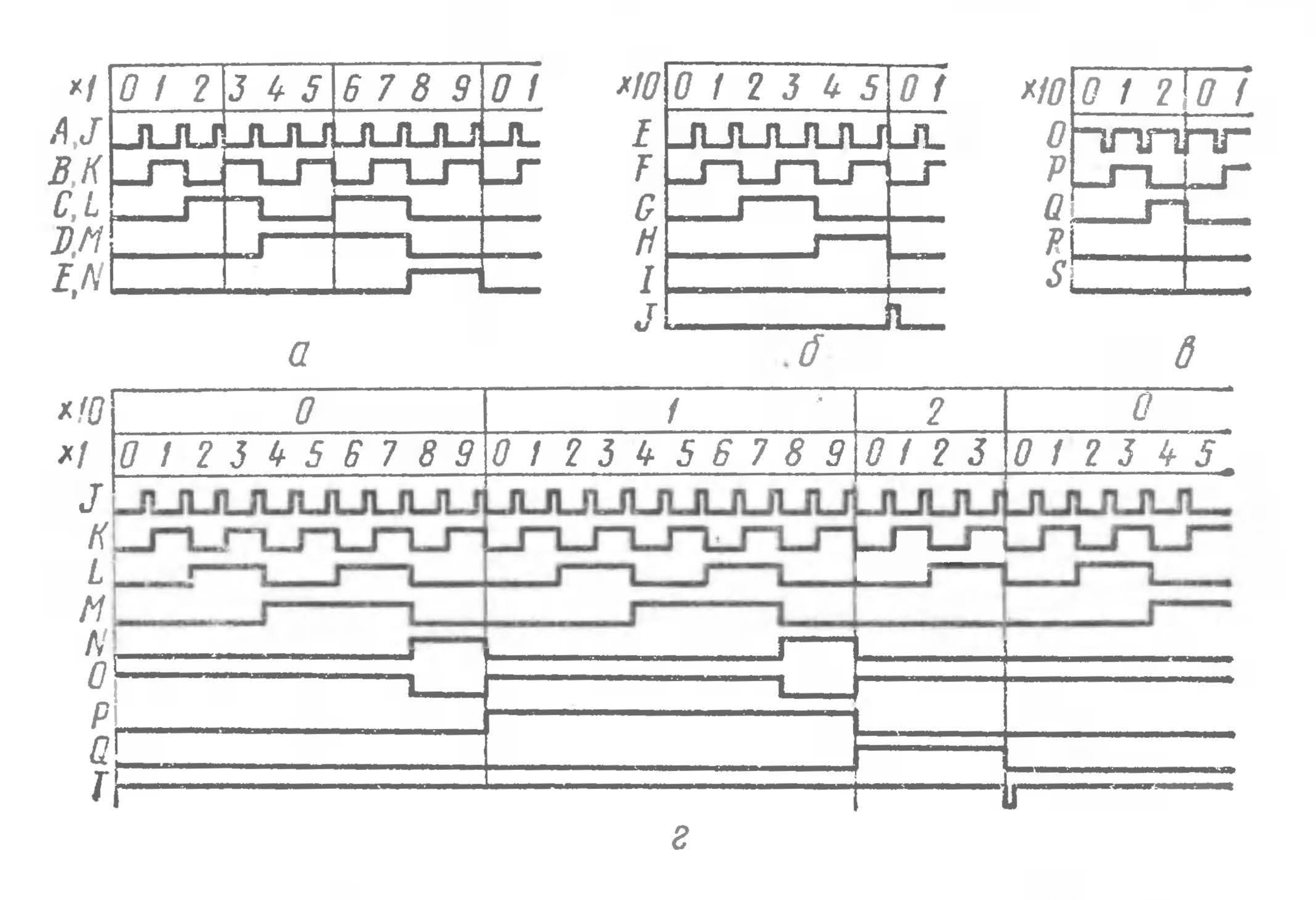


Рис. 3. Эпюры напряжений в различных точках электронных часов

Длительность импульса на выходе узла укорачивания подбирают изменением параметров *RC*-звена.

Счетчик часовых импульсов состоит из декадного счетчика *MC13*, считающего единицы часов, и счетчика *MC17* с коэффициентом пересчета три, считающего десятки часов. Счетчик *MC13* выполнен аналогично декадному счетчику *MC10*. Осциллограммы, иллюстрирующие его работу (*J, K, L, M, N*), приведены на рис. 3, *а*. Счетчик *MC17* состоит из двух *D*-триггеров (*MC17а* и *MC17б*), включенных по синхронной схеме с обратной связью. Функционирование счетчика основано на особенностях работы *D*-триггера, который имеет вход управления, установки в нуль, а также тактирующий вход. Информация, подаваемая на вход, фиксируется триггером лишь при наличии импульса на тактирующем входе. Если на вход управления поданы сигналы логической «1» или «0», то после появления тактирующего импульса

триггер устанавливается соответственно в единичное или нулевое состояние. *D*-триггеры тактируются положительными перепадами, поэтому на входе счетчика установлен инвертор *МС16в*.

Когда оба триггера находятся в нулевом состоянии, по цепи обратной связи на входы управления и установки первого из них (*МС17а*) поступает высокий логический уровень, который подготавливает его переключение в единичное состояние (рис. 3, *в*). При этом на вход управления второго триггера (*МС17б*) подается логический «0», запрещающий его переключение.

С приходом первого входного импульса триггер *МС17а* устанавливается в единичное состояние, а *МС17б* — в нулевое. С приходом второго импульса первый триггер возвращается в исходное состояние, а второй — в единичное. При этом на входы управления обоих триггеров подается низкий логический уровень и с приходом третьего тактирующего импульса счетчик возвращается в исходное (нулевое) состояние. Таким образом, в интервалах чисел 0—2, в котором работает счетчик *МС17*, его кодовые комбинации совпадают с комбинациями кода 1-2-4-8.

Необходимый коэффициент пересчета счетчика часовых импульсов (24) достигается введением сигнала обратной связи, который формируется специальным дешифратором, выполненным на инверторах *МС14а* — *МС14в* и *МС15а*. При установке счетчиков *МС17* и *МС13* соответственно в положение 2 и 4 на выходе *МС15а* появляется низкий логический уровень, а на выходе инвертора *МС14а* — высокий логический уровень. Когда они поступают на входы *R* счетчиков *МС17* и *МС13*, последние устанавливаются в исходное (нулевое) состояние. После этого цикл пересчета повторяется.

Осциллограммы, иллюстрирующие работу счетчика часов в режиме счета до 24, приведены на рис. 3, *г*.

Для индикации состояний счетчиков используются цифровые газоразрядные лампы, а для преобразования цифровых кодов, формируемых счетчиками, в сигналы, необходимые для управления индикаторными лампами,— специальные дешифраторы К155ИД1.

Как отмечалось ранее, все счетчики в пределах своих счетных интервалов работают в коде 1-2-4-8. Дешифраторы К155ИД1, предназначенные для работы именно с этим кодом, преобразуют кодовые комбинации, поступающие со счетчиков, в единичный позиционный код. На каждом из выходов дешифратора сигнал соответствует уровню логического «0» только при определенном сочетании входных сигналов, при остальных сочетаниях на выходе — высокий логический уровень. При изменении состояния счетчиков низкий логический уровень последовательно появляется на всех выходах дешифратора и на индикаторе высвечиваются соответствующие цифры.

В составе дешифраторов, кроме преобразователей кодов, имеются специальные усилительные каскады, предназначенные для согласования выходов дешифраторов со входами индикаторов. Эти каскады формируют перепады напряжений, необходимые для управления индикаторными лампами. Резисторы в цепях питания индикаторов ограничивают их анодный ток, а также напряжение на коллекторах усилительных каскадов.

Выключатель *«Пуск»*, а также кнопки *«Мин.»* и *«Час.»* предназначены соответственно для остановки и установки времени перед запуском. Выключатель размыкает цепь прохождения тактовых импульсов между счетчиками *МС6* и *МС7* и устанавливает эти счетчики в нулевое состояние. При нормальном положении кнопок на входах счетчиков минут и часов — низкий логический уровень. При нажатии и последующем отпускании кнопок на входах счетчиков должны появляться сначала положительные, а затем отрицательные перепады напряжения. Таким образом, нажимая и отпуская кнопки (сначала *«Мин.»*, а затем *«Час.»*), можно установить на часах любое требуемое время. Установка счетчиков производится при отпускании кнопки. Затем при наступлении заранее установленного на индикаторах времени часы включают выключателем *«Пуск»*.

Механическое переключение контактов обычно сопровождается дребезгом (рядом кратковременных переходов от замкнутого состояния к разомкнутому и наоборот). Дребезг может привести к формированию пачки импульсов вместо желаемого одиночного импульса или перепада напряжения.

В данном случае при срабатывании кнопок *«Мин.»* и *«Час.»* с дребезгом показания соответствующих индикаторов в принципе могли бы меняться не на единицу, а каждый раз на разное неизвестное заранее число. Для

предотвращения этого явления в цепях устано
зованы специальные формирователи, выполне
де простейших *RS*-триггеров на двух инверт
МС1в и *МС12в, МС12г*. Нулевой потенциал, п
емый при нажатии кнопки к одному из входо
зки исполь-
нные в ви-
рах *МС1б*,
рикладыва-
в триггера,

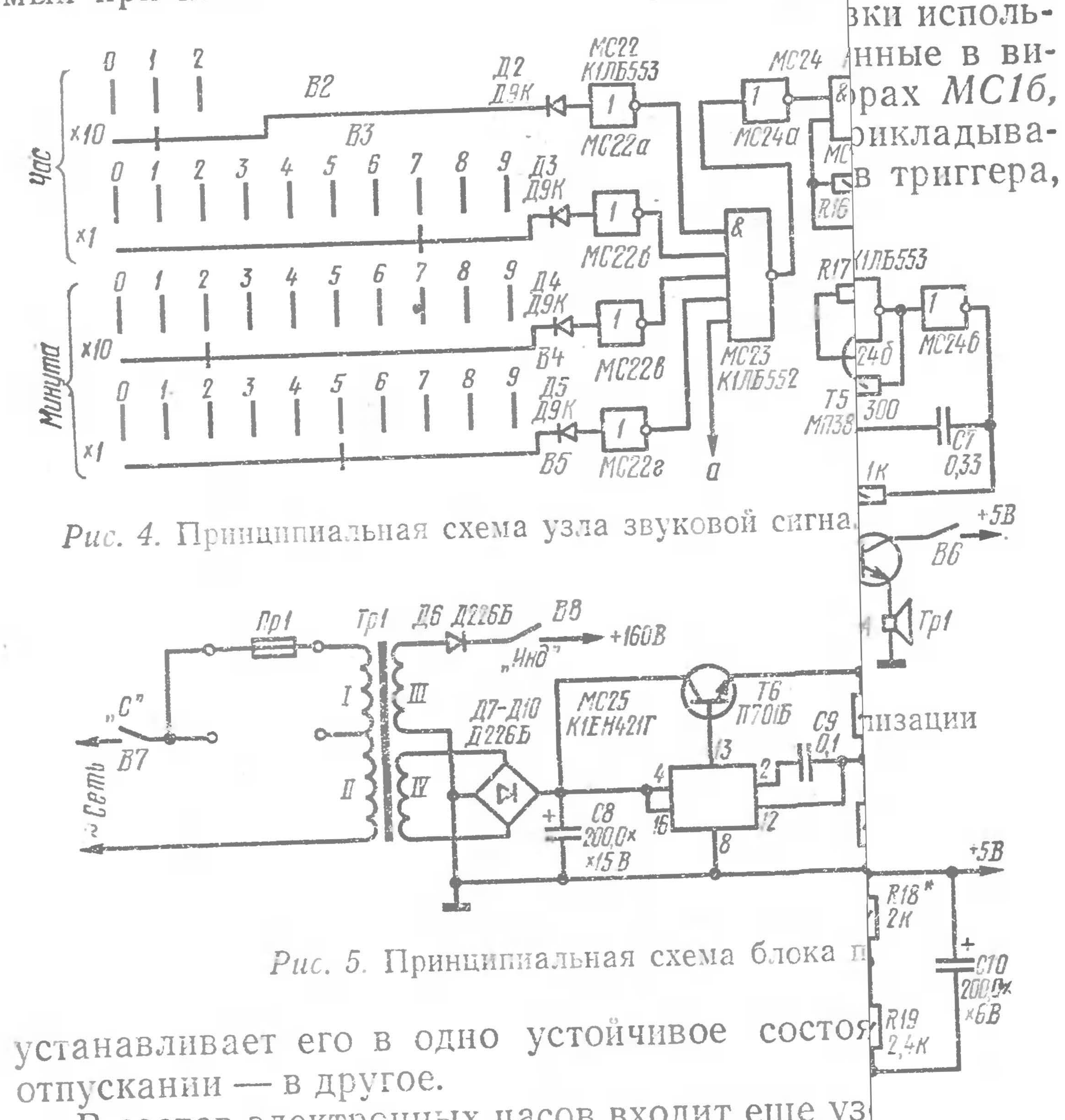


Рис. 4. Принципиальная схема узла звуковой сигна

Рис. 5. Принципиальная схема блока п

лизации

итания

устанавливает его в одно устойчивое состоя
отпускании — в другое.

В состав электронных часов входит еще уз
сигнализации. Он подает сигнал при наступ
деленного времени. Узел звуковой сигнализа
из переключателей выбора времени, инверт ние, а при
совпадения, мультивибратора и динамическ

Работает узел следующим образом. Необх л звуковой
мя срабатывания набирают четырьмя перекл лении опре-
которые, как и индикаторные лампы, соедин щии состоит
ветствующими выходами дешифраторов (рис ров, схемы
сунке переключатели установлены в такое й головки.
чтобы звуковой сигнал был включен в 17 одимое вре-
ючателями,
ены с соот-
4). На ри-
положение,
ч 25 мин.

Схема совпадения подключается к дешифраторам через инверторы и диоды. Диоды предотвращают ложное срабатывание индикаторов, вызванное присоединением узла звуковой сигнализации.

Схема совпадения представляет собой многовходовый элемент «И-НЕ». При наступлении заданного времени на все входы элемента *МС23* подается уровень логической «1». При этом на выходе элемента будет низкий логический уровень, а на выходе инвертора *МС24а* — высокий. При появлении высокого логического уровня начинает работать мультивибратор (элементы *МС24б, МС24в*), вырабатывающий колебания частотой около 500 Гц. Мультивибратор через согласующий эмиттерный повторитель нагружен на малогабаритную головку прямого излучения.

Звуковой сигнал в данных часах оказывается модулированным импульсами с периодом следования 1,2 с, которые поступают с триггера *МС9а*. Через одну минуту после включения звукового сигнала изменяется распределение потенциалов на выходе дешифратора *МС18* (единицы минут), совпадение потенциалов на входах элемента *МС23* исчезнет, и звуковой сигнал выключится.

Светодиод *Д1*, подключенный к прямому выходу триггера *МС9а*, включается каждые 1,2 с. Он размещается на передней панели часов, разделяя цифры часов и минут.

Необходимые для работ часов питающие напряжения формируются в блоке питания (рис. 5). Питание индикаторов осуществляется пульсирующим напряжением, получаемым при однополупериодном выпрямлении переменного напряжения частоты сети. Для питания микросхем используется стабилизированный выпрямитель.

Трансформатор *Тр1* выполнен на магнитопроводе ШЛ16×16. Обмотки *I* и *II* содержат соответственно 1200 и 1660 витков провода ПЭВ-1 0,15, обмотка *III* — 2200 витков провода ПЭВ-1 0,1, обмотка *IV* — 120 витков провода ПЭВ-1 0,56.

При условии безошибочной сборки электронные часы не требуют налаживания и работают сразу после включения.

RC-ГЕНЕРАТОР С ЛИНЕЙНЫМ ОТСЧЕТОМ ЧАСТОТЫ

Б. ТАТАРКО

Одним из важных требований при конструировании генераторов низкой частоты является обеспечение стабильности амплитуды сигналов во всем диапазоне генерируемых частот. Как известно, для этих целей в *RC*-генераторах используются либо регулирующие элементы, действие которых основано на изменении глубины отрицательной обратной связи обратно пропорционально величине выходного сигнала, либо системы автоматического регулирования уровня сигнала.

В качестве простейших регулирующих элементов применяются нелинейные резисторы (полупроводниковые или вакуумные термисторы, а также лампы накаливания). Вакуумные термисторы (ТП2/0,5) обеспечивают нестабильность амплитуды сигнала до 3 дБ в диапазоне частот 20 Гц — 200 кГц («Радио», 1972, № 4, с. 38), что в ряде случаев бывает недостаточно.

Более сложные регулирующие элементы представляют собой специальные узлы, выходное сопротивление которых зависит от величины сигнала (например, каскад на транзисторе *Т4* и диодах *Д1, Д2* в генераторе, описанном в «Радио», 1974, № 10, с. 52; цепочка *R5Д1Д2* в генераторе, приведенном в «Радио», 1974, № 10, с. 36).

Примером реализации системы автоматического регулирования уровня сигнала является узел на транзисторах *Т4, Т5* и диоде *Д1* (см. «Радио», 1965, № 11, с. 55). Узел изменяет напряжение питания задающего генератора в зависимости от уровня выходного сигнала и обеспечивает нестабильность сигнала на выходе 5% в диапазоне 15 Гц — 16,5 кГц.

Таким образом, применение в генераторах простейших регулирующих элементов вызывает необходимость иметь измеритель уровня выходного сигнала. Регулирующие элементы, выполненные на основе специальных схем, а также системы автоматического регулирования

требуют дополнительных элементов и усложняют конструкцию и настройку генераторов.

Обеспечение высокой стабильности уровня сигнала на выходе *RC*-генераторов без усложнения его схемы возможно при использовании в качестве регулирующего элемента оптрона. Оптрон состоит из фоторезистора,

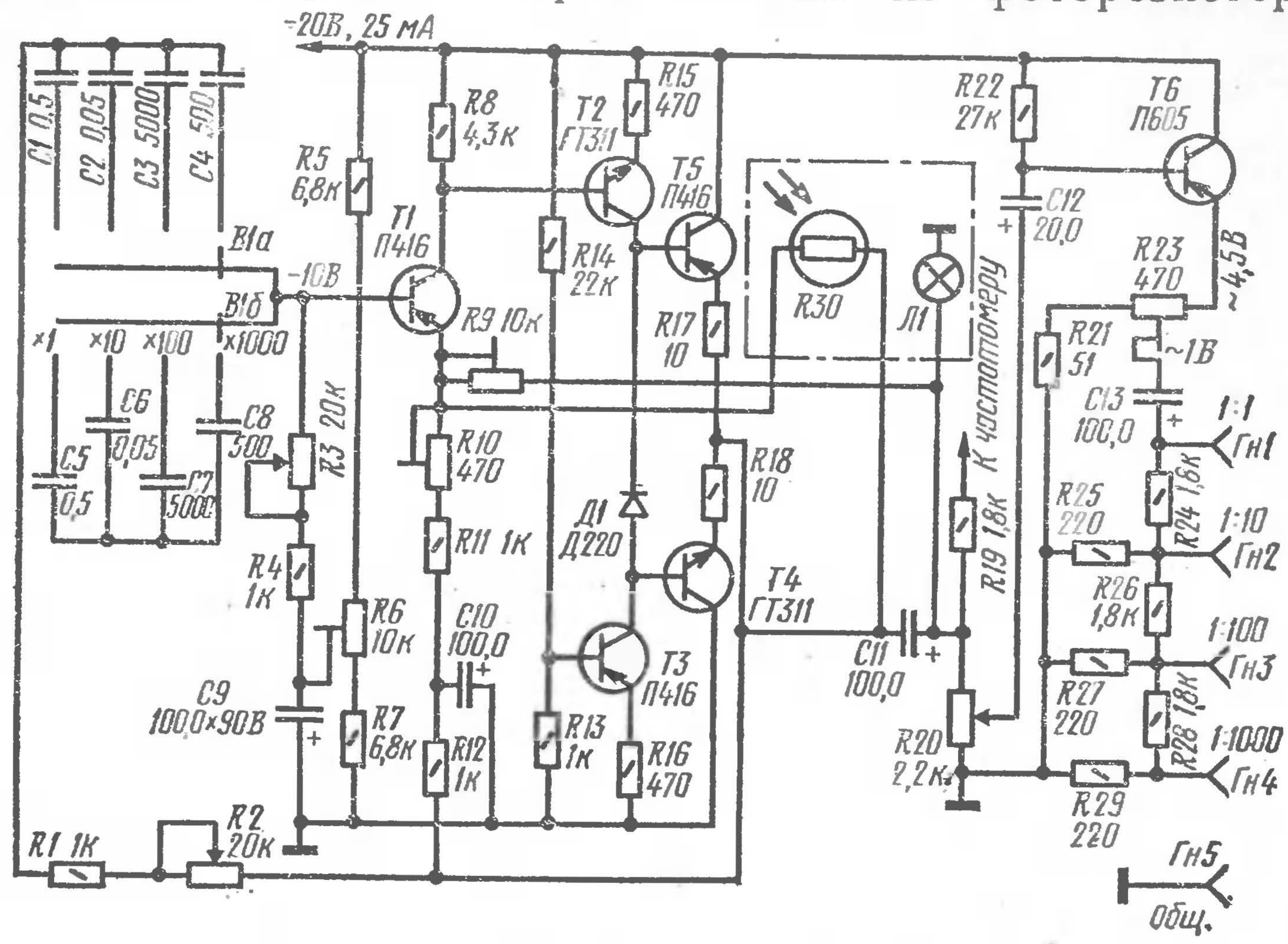


Рис. 1. Принципиальная схема генератора

включенного в цепь отрицательной обратной связи, и миниатюрной индикаторной лампы накаливания, на которую подается генерируемый сигнал. Принцип действия такого устройства заключается в следующем: при возрастании уровня сигнала увеличивается яркость свечения лампы, что приводит к увеличению светового потока, падающего на фоторезистор, и уменьшению его сопротивления, а следовательно, к увеличению глубины отрицательной обратной связи.

Малая инерционность лампы и большая удельная чувствительность фоторезисторов (500—30 000 $\frac{мкА \cdot В}{лм}$) приводит к поддержанию амплитуды выходного сигнала практически постоянной в широком диапазоне генерируемых частот.

RC-генератор, схема которого приведена на рис. 1, выполнен с использованием оптрона.

Частотный диапазон генератора 20 Гц — 200 кГц разбит на четыре поддиапазона: 20—200 Гц; 0,2—2 кГц; 2—20 кГц и 20—200 кГц. Погрешность установки частоты с помощью встроенного частотомера не превышает 1,5%.

Действующее значение выходного сигнала при сопротивлении нагрузки, большем 10 Ом, составляет 4,5 В при нестабильности не более 1% во всем диапазоне рабочих частот. Коэффициент нелинейных искажений не превышает 0,5%.

Генератор представляет собой усилитель с непосредственной связью между каскадами. В состав генератора также входят эмиттерный повторитель на транзисторе *Т6* и выходной аттенюатор.

Усилитель охвачен положительной и отрицательной обратными связями. Цепь положительной обратной связи — с выхода усилителя (точка между резисторами *R17* и *R18*) через резисторы *R1, R2*, один из конденсаторов *C1 — С4* на базу транзистора *Т1*. Резисторы *R1* и *R4* служат для установки верхней границы диапазона генерируемых частот. Отрицательная обратная связь создается двумя цепями: первая — с конденсатора *С11* через резистор *R9* на эмиттер транзистора *Т1*, вторая — от точки соединения резисторов *R17* и *R18* через фоторезистор *R30* также на эмиттер транзистора *Т1*. Резистор *R9* служит для установки начальной глубины отрицательной обратной связи.

Фоторезистор *R30* и лампа *Л1*, включенная на выходе усилителя, образуют оптрон, который используется для поддержания постоянства уровня выходного сигнала путем изменения коэффициента усиления первого каскада (транзистор *Т1*) в зависимости от уровня сигнала на выходе генератора.

Сигнал с переменного резистора *R20* с линейной зависимостью сопротивления от угла поворота движка через эмиттерный повторитель на транзисторе *Т6* подается на выходной аттенюатор (резисторы *R24 — R29*) с коэффициентом деления 1, 10, 100 и 1000. Переменный резистор *R20* имеет шкалу, проградуированную в эффективных значениях выходного напряжения. Подстроечным резистором *R23* устанавливают напряжение, соответствующее верхнему значению шкалы резистора *R20*.

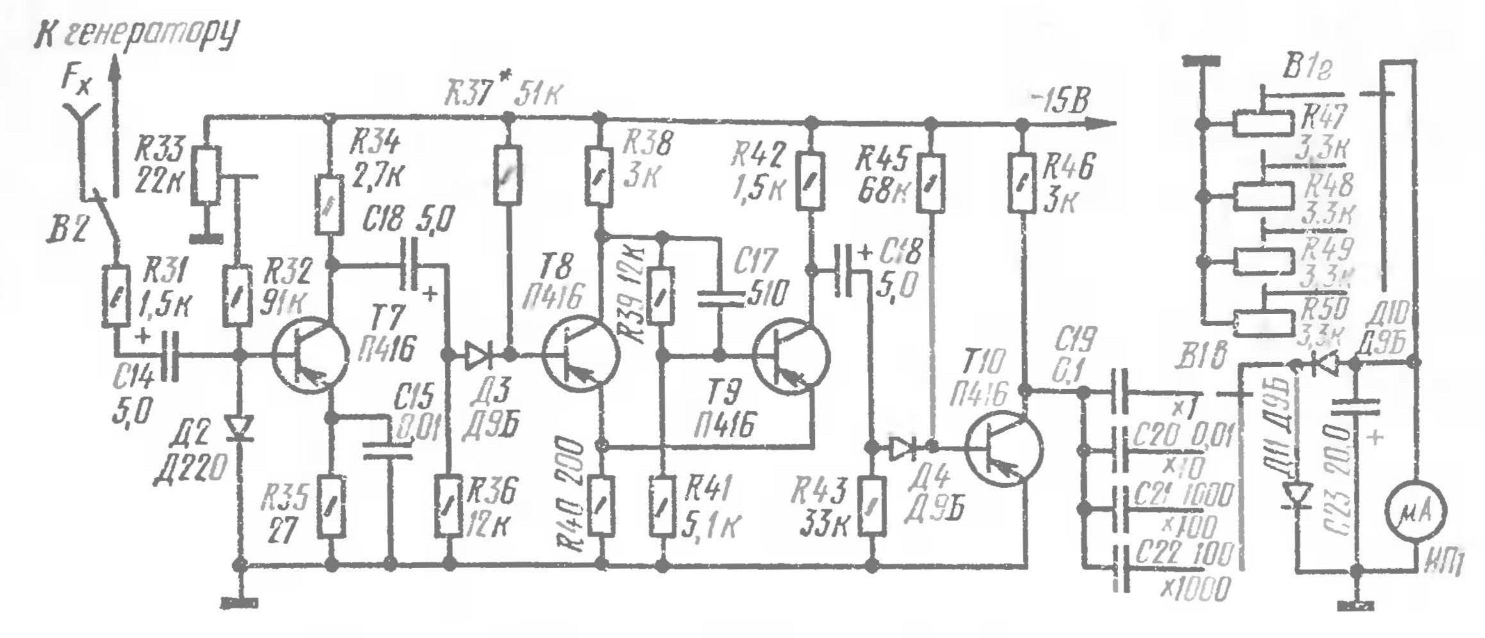


Рис. 2. Принципиальная схема частотомера

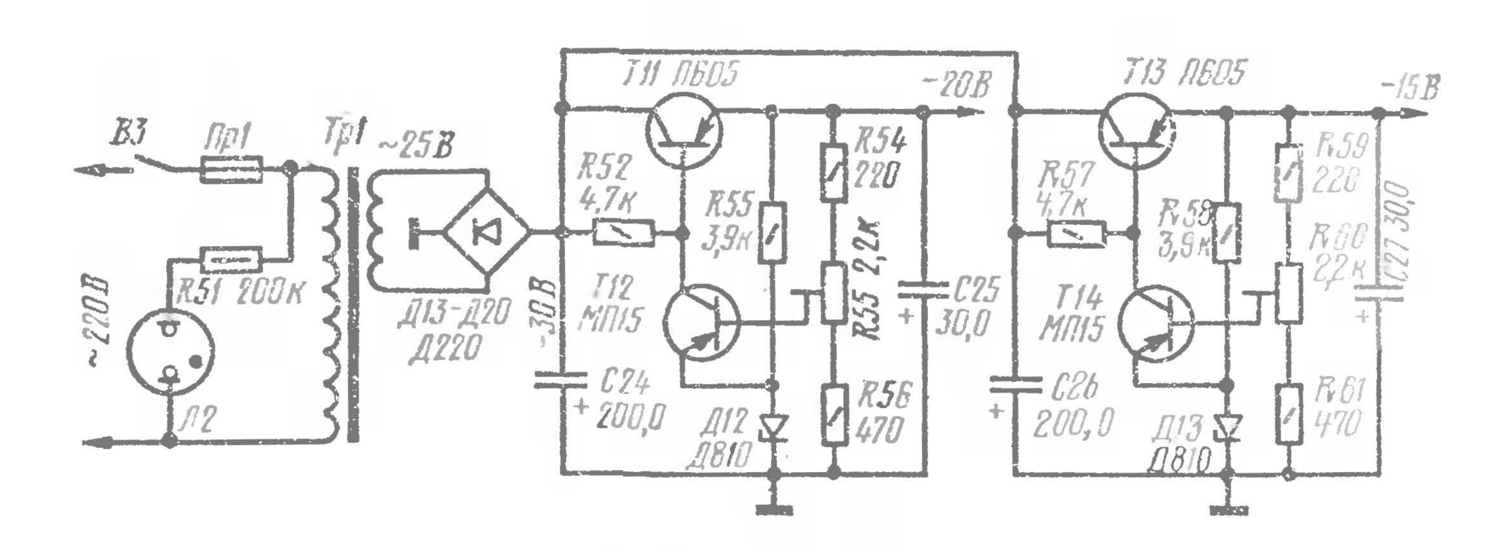


Рис. 3. Принципиальная схема блока питания

Для упрощения процесса градуировки генератора по частоте и расширения возможностей прибора целесообразно применить встроенный частотомер (см. например, «Радио», 1972, № 4, с. 38). При использовании встроенного частотомера сигнал генератора через развязывающий резистор *R19* и переключатель *В1* подается на его вход (рис. 2).

Диапазон рабочих частот частотомера такой же, как и у генератора. Уровень входного сигнала 50 мВ — 50 В. Погрешность измерения частоты не более 1,5%.

Частотомер состоит из усилителя-ограничителя (транзистор *Т7*), нормирующего входной сигнал по амплитуде и длительности, буферного каскада на транзисторе *Т10* и измерительного узла (элементы *С19 — С23, Д10, Д11, ИП1* и *R47 — R50*), в котором осуществляется измерение тока заряда одного из конденсаторов *С19 — С22*. Ток

заряда пропорционален частоте входного сигнала (частоте вырабатываемых генератором сигналов).

Генератор и частотомер питаются стабилизированным напряжением. Принципиальная схема блока питания показана на рис. 3.

Элементы прибора (частотомер, генератор, стабилизаторы и выпрямитель) смонтированы на печатных платах и помещены в корпус из листового дюралюминия толщиной 1,5 мм. Размер корпуса 210×130×70 мм. Все органы управления и измерительный прибор размещены на передней панели. Обозначения и надписи выполнены фотоспособом и прикрыты органическим стеклом толщиной 1 мм.

Трансформатор *Тр1* собран на ленточном сердечнике ШЛ12×16. Сетевая обмотка (220 В) намотана проводом ПЭВ-2 0,12 и состоит из 3900 витков. Вторичная обмотка (25 В) содержит 480 витков провода ПЭВ-2 0,31.

Переключатель поддиапазонов общий для генератора и частотомера — 4П2Н. Сдвоенный переменный резистор *R2R3* — ПТП1-4 снабжен верньерным устройством. Подстроечные резисторы *R6, R9, R10, R23, R33, R47—R50, R55* — СП5-2 (СП5-11 или СП5-16ТА), постоянные резисторы — МЛТ-0,25, конденсаторы *С9 — С11, С13, С24, С26 — К52-2, С12, С14, С16, С18, С23, С25, С27* — ЭТО-1, остальные — КСО и МБО.

В частотомере использован измерительный прибор М265М с током полного отклонения 200 мкА.

В качестве элементов оптрона применены фоторезистор СФ3-1 и лампа НСМ6,3, помещенные в светонепроницаемый футляр (корпус от реле РЭС-10).

Налаживание генератора сводится к установке режима работы транзистора *Т1* по постоянному току (—10 В на базе транзистора *Т1*) подстроечным резистором *R6*, установлению начальной глубины отрицательной обратной связи (~4,5 В на эмиттере транзистора *Т6*) резистором *R9* и к корректированию формы генерируемых сигналов подстроечным резистором *R10*. При налаживании используют типовые приборы, применяемые при настройке *RC*-генераторов (осциллограф, авометр и милливольтметр переменного тока).

Порядок настройки частотомеров подобного типа неоднократно описывался в журнале «Радио» и здесь не приводится.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР

А. АБРАМОВ, А. МИЛЕХИН

Описываемый функциональный генератор, несмотря на простоту схемного решения, имеет достаточно разнообразные функциональные возможности и высокие метрологические характеристики. Диапазон генерируемых частот 0,4 Гц — 20 кГц разбит на четыре поддиапазона: 0,4—20 Гц, 4—200 Гц, 40—2000 Гц, 0,4—20 кГц. Выходное напряжение можно изменять ступенями (5, 50, 500, 5000 мВ), а внутри каждой ступени плавно. Коэффициент гармоник синусоидального сигнала не превышает 1,5%. Выходное напряжение во всем диапазоне рабочих частот изменяется не более чем на 1%. Время установления выходного напряжения при изменении частоты практически равно нулю.

В функциональном генераторе для генерирования импульсов прямоугольной и треугольной формы используется замкнутая релаксационная система, состоящая из интегратора и компаратора. Упрощенная схема функционального генератора приведена на рис. 1, а эпюры напряжений, поясняющие работу релаксационного генератора,— на рис. 2.

На операционном усилителе *ОУ1* построен интегратор. Скорость нарастания и знак напряжения на выходе интегратора зависят от напряжения на его входе. На основе операционного усилителя *ОУ2* выполнен компаратор. Порог срабатывания данного компаратора зависит от соотношения сопротивлений резисторов *R2* и *R3*.

Предположим, что в начальный момент напряжение на выходе интегратора $U_а$ равно нулю, а на выходе компаратора — отрицательное напряжение. Так как напряжение $U_в$ подано на инвертирующий вход интегратора, то напряжение на его выходе возрастает. В момент t_1 оно достигает верхнего порога срабатывания компаратора и он переходит в другое состояние. Напряжение на его выходе изменяется на противоположное, соответственно и напряжение на выходе интегратора начинает уменьшаться. В момент t_2 оно достигает нижнего порога срабатывания компаратора и цикл повторяется. Частоту генерируемых колебаний можно найти по формуле:

$$f=\frac{U_в}{4U_{а\,max}C1R1},$$

где $U_{в}$ — выходное напряжение компаратора,

$U_{a\,max}$ — амплитуда выходного напряжения интегратора.

Для преобразования треугольного напряжения в синусоидальное используются функциональные преобразователи. При этом используются такие методы, как кусочно-линейная и кусочно-нелинейная аппроксимация. При использовании кусочно-линейной аппроксимации синусоидальная форма кривой формируемых колебаний заменяется кусочно-линейной функцией, число и протяженность которой зависят от необходимой точности приближения. Для этой цели наиболее часто используют функциональные преобразователи с диодно-резистивными цепями и транзисторами. К недостаткам подобного рода преобразователей следует отнести: сложность схемного решения, большое число деталей, сложность регулировки.

В последнее время появились функциональные преобразователи треугольного напряжения в синусоидальное, основанные на использовании нелинейных вольт-амперных характеристик полевых транзисторов. При фиксированном напряжении на затворе зависимость тока стока от напряжения на стоке на участке между нулем и точкой насыщения (равной напряжению отсечки) имеет форму четверти синусоиды. Поэтому приложенное между стоком и истоком напряжение треугольной формы, имеющее соответствующую амплитуду U_{m}, будет давать ток стока, изменяющийся примерно по синусоидальному закону (рис. 3).

Чтобы получить сигнал синусоидальной формы обеих полярностей, используется свойство симметричности полевого транзистора по отношению к истоку и стоку: диоды и резисторы R_{3} переключают сигнал от истока к стоку и наоборот, когда выходное напряжение треугольной формы меняет знак при переходе через нуль каждые полпериода (рис. 4). Для получения минимума нелинейных искажений следует сопротивление резисторов *R1* и *R2*, образующих цепь отрицательной обратной связи, уменьшающей нелинейные искажения, выбирать равным сопротивлению канала полевого транзистора при нулевом смещении на затворе. Амплитуда входного треугольного сигнала должна быть примерно равной 1,33 $U_{нас}$. При выполнении этих условий можно получить

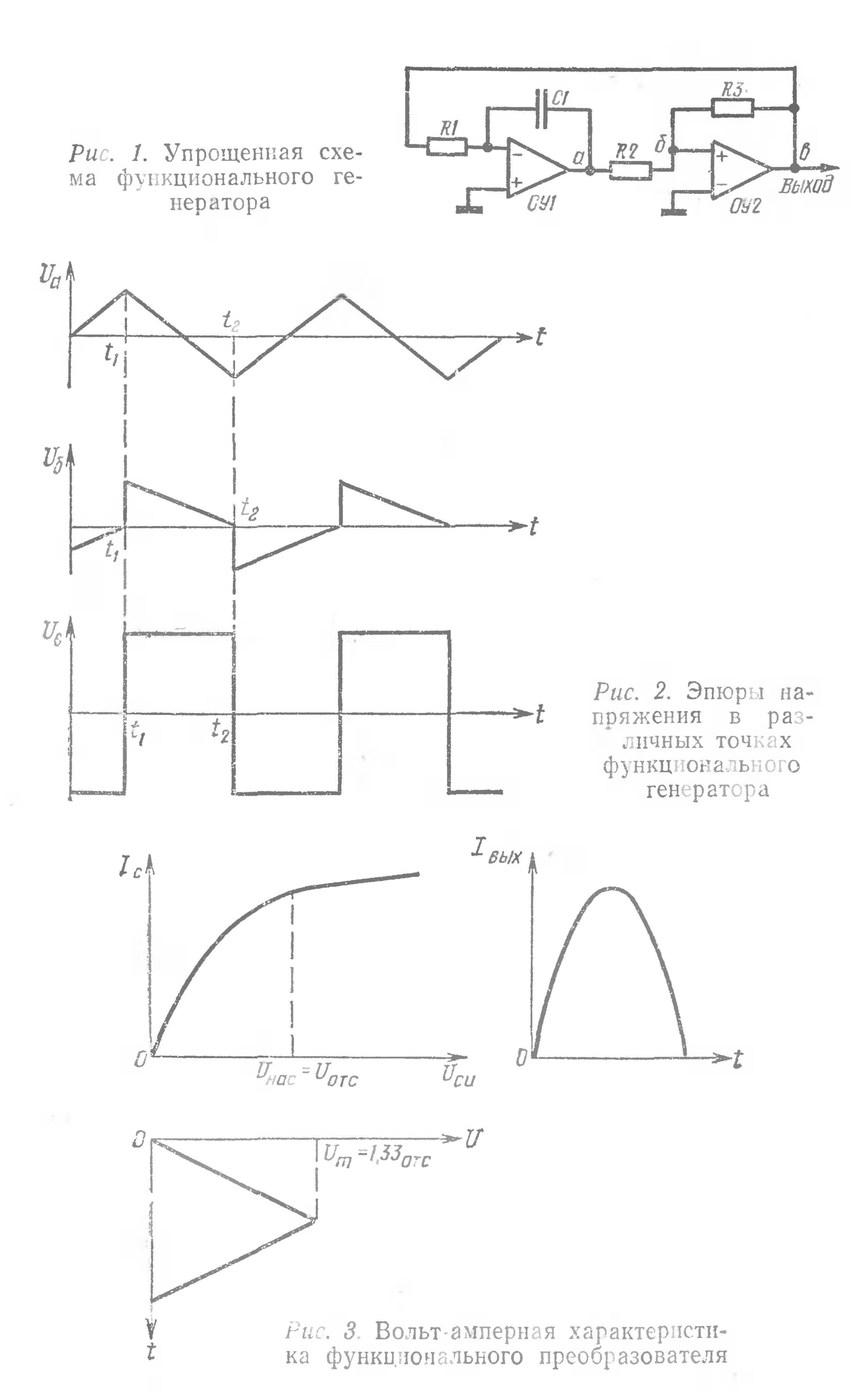


Рис. 1. Упрощенная схема функционального генератора

Рис. 2. Эпюры напряжения в различных точках функционального генератора

Рис. 3. Вольт-амперная характеристика функционального преобразователя

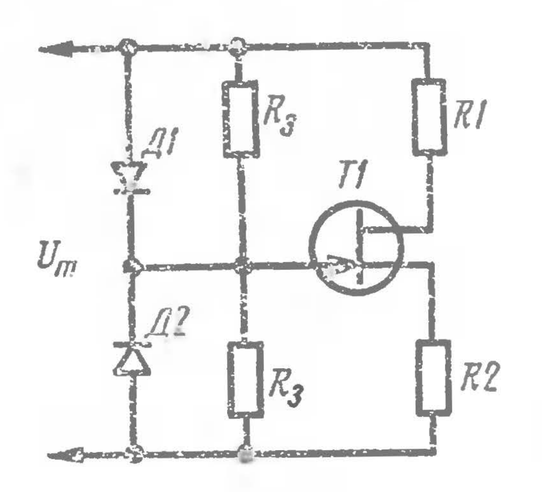


Рис. 4. Принципиальная схема функционального преобразователя на полевом транзисторе

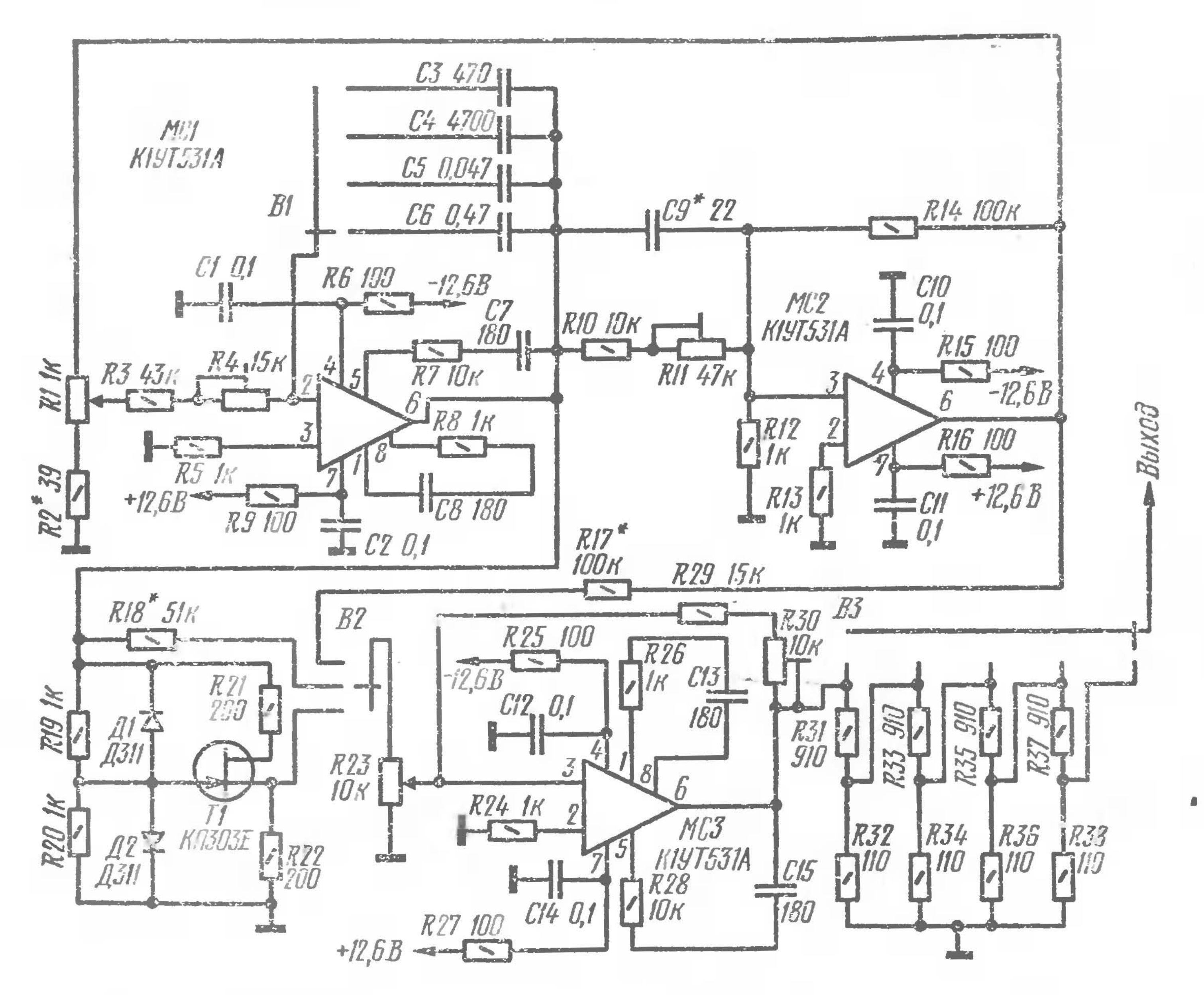


Рис. 5. Принципиальная схема функционального генератора

синусоидальный сигнал с коэффициентом нелинейных искажений менее 1%.

Полная принципиальная схема функционального генератора приведена на рис. 5. На микросхеме *MC1* выполнен интегратор, на *MC2* — компаратор. Переменным резистором *R1* перестраивают генератор в выбранном частотном диапазоне. Нужный поддиапазон выбирают переключателем *B1*. Для преобразования треугольного напряжения, снимаемого с выхода интегратора *MC1*, в синусоидальное используется полевой транзистор *T1*. Так

как нелинейные искажения синусоидального сигнала зависят от входного треугольного сигнала, то для установки необходимой амплитуды треугольного напряжения используют подстроечный резистор *R11*.

Для получения амплитуды сигнала на выходе генератора, равной 5 В, используют микросхему *MC3*, включенную по схеме масштабного усилителя. Переменным резистором *R23* плавно регулируют амплитуду сигнала на выходе генератора. Переключателем *B2* выбирают нужную форму сигнала (треугольную, прямоугольную или синусоидальную) на выходе генератора.

Правильно собранный генератор сразу начинает вырабатывать сигналы. Но для получения характеристик, указанных в начале статьи, необходимо сделать соответствующие регулировки в следующей последовательности. Движок переменных резисторов *R1*, *R23* устанавливают в среднее положение, а подстроечного резистора *R30* — в верхнее по схеме положение. Переключатели *B1* — *B3* устанавливают в положения, показанные на рис. 5. К гнезду *«Выход»* подключают осциллограф. Включают питание. На экране осциллографа должно появиться изображение импульсов треугольной формы. При вращении движка переменного резистора *R1* должна плавно изменяться частота импульсов.

Затем устанавливают переключатель *B2* в нижнее по схеме положение и подстроечным резистором *R11* добиваются минимальных искажений синусоидального сигнала. После этого движок резистора *R1* переводят в нижнее по схеме положение и подбором резистора *R2* устанавливают нижнюю границу рабочего диапазона (0,4 Гц). В верхнем положении движка резистора *R1* резистором *R4* устанавливают верхнюю границу первого поддиапазона (20 Гц). Затем проверяют перекрытие на остальных поддиапазонах. На высших частотах четвертого поддиапазона форма колебаний может отличаться от треугольной из-за невысокой полосы пропускания операционного усилителя *MC1*. Это можно устранить подбором конденсатора *C9*. Переведя движок переменного резистора *R23* в верхнее по схеме положение, подстроечным резистором *R30* устанавливают амплитуду синусоидального сигнала на выходе микросхемы *MC3*, равной 5 В. Подбором резистора *R18* (переключатель *B2* в среднем положении) устанавливают амплитуду треугольного

сигнала на выходе микросхемы *МС3*, также равной 5 В. Подобную операцию (но только подбором резистора *R17*) производят и при прямоугольном сигнале, установив переключатель в верхнее по схеме положение.

Заканчивают налаживание генератора проверкой работы выходного аттенюатора.

В заключение следует добавить, что функциональные возможности описанного генератора не ограничиваются получением трех видов сигнала. Подключив вместо резистора *R3* оптрон и подавая на выводы светодиода пилообразное напряжение (изменяя тем самым сопротивление фоторезистора), получим генератор качающейся частоты, с помощью которого можно настраивать разнообразные радиоэлектронные устройства.

Существуют и другие способы изменения частоты напряжением в данном генераторе. Изменяя смещение на входе интегратора, можно изменять скорость нарастания треугольного напряжения, то есть получить пилообразное напряжение на выходе интегратора и прямоугольное напряжение на выходе компаратора с регулируемой скважностью.

ЦИФРОВОЙ ЧАСТОТОМЕР-МУЛЬТИМЕТР

В. СУЕТИН

Функциональные возможности цифрового частотомера можно значительно расширить с помощью измерительного устройства, описание которого дано ниже.

Устройство позволяет измерять постоянное и переменное напряжение и ток, а также сопротивление и емкость. Диапазон измерений постоянных напряжений — от 0,1 мВ до 1000 В (верхние пределы 1, 10, 100 и 1000 В), переменных — от 1 мВ до 300 В (верхние пределы 1, 10, 100 и 300 В). Входное сопротивление устройства 2,2 МОм.

Диапазон измерений постоянных токов — от 0,1 мкА до 1 А, переменных — от 1 мкА до 1 А. Пределы измерений: 1, 10, 100 и 1000 мА. Падение напряжения на входе устройства при измерении токов — 100 мВ.

Диапазон измерений сопротивлений — от 0,1 Ом до 10 МОм (пределы 1, 10, 100 кОм, 1 и 10 МОм), емкостей — от 1 пФ до 1 мкФ (пределы 1, 10, 100 и 1000 нФ).

Основная погрешность измерений не превышает 0,1%.

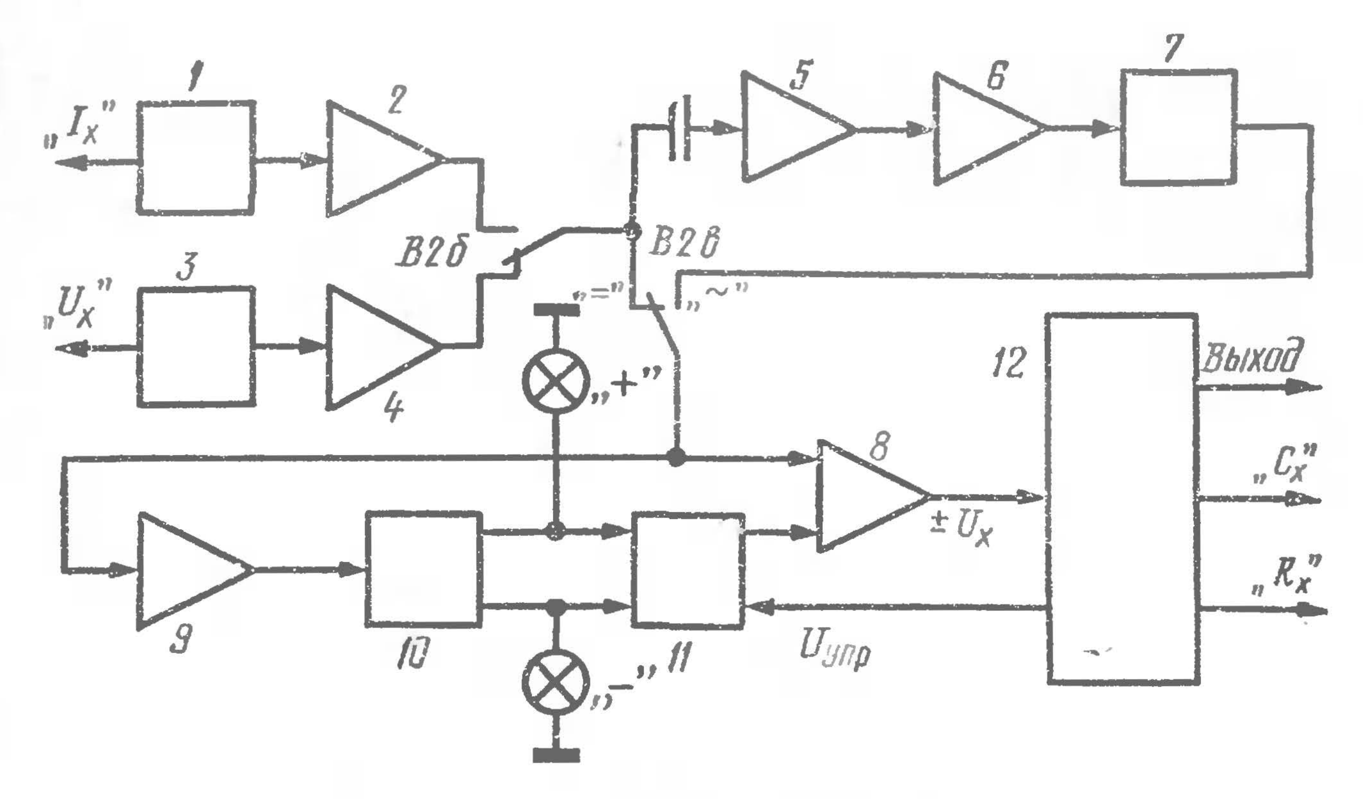


Рис. 1. Структурная схема прибора

Разрешающая способность — 0,01% конечного значения предела измерений.

Определение полярности напряжения и тока производится автоматически, выбор пределов измерения — вручную. Отсчет при времени измерения 0,1 с — трехразрядный и при 1 с — четырехразрядный.

В основу работы устройства положен частотно-импульсный метод. Он заключается в преобразовании измеряемого параметра в пропорциональное значение частоты с последующим измерением средней частоты за определенный интервал времени. Измерительную цепь включают в контур автоколебательной системы, частота колебаний которой является выходной величиной преобразования. По существу устройство состоит из целого ряда преобразователей, речь о которых и пойдет дальше.

Устройство выполнено на полупроводниковых элементах с широким использованием линейных интегральных микросхем.

Структурная схема устройства приведена на рис. 1. Оно состоит из входных делителей тока *1* и напряжения *3*, усилителя *2* с коэффициентом усиления, равным пяти, входного повторителя *4*, линейного выпрямителя (повторителя *5*, усилителя *6* с коэффициентом усиления, равным пяти, фильтра *7*), модулятора *8*, определителя полярности (усилителя *9*, порогового устройства *10*), фазоинвертора *11* и преобразователя *UCR*-параметров в частоту *12*.

Измеряемое напряжение положительной или отрицательной полярности через входной делитель напряжения *3* поступает на входной повторитель *4*, который при коэффициенте передачи, равном 1, обладает высоким входным и низким выходным сопротивлениями. Далее напряжение подается на модулятор *8*, где постоянное напряжение преобразуется в разнополярное с амплитудой, пропорциональной измеряемому напряжению. Преобразователь *UCR*-параметров преобразует это напряжение в частоту, которая измеряется затем частотомером за определенный интервал времени.

При измерении тока на образцовом резисторе входного делителя *1* создается падение напряжения, пропорциональное измеряемому току. Это напряжение усиливается усилителем *2* и подается через переключатель *В2б* на модулятор *8*.

Определитель полярности автоматически выявляет полярность входного сигнала и индицирует знак «+» или «—». Кроме того, он в зависимости от полярности входного сигнала инвертирует управляющий сигнал, подаваемый на модулятор, что необходимо для правильной работы преобразователя *UCR*-параметров.

В случае измерения переменных напряжений и токов сигналы поступают по тем же каналам, однако перед модулятором они предварительно преобразуются линейным выпрямителем в постоянные.

Принципиальная схема устройства показана на рис. 2.

Входные делители (напряжения — высокоомный, тока — низкоомный) служат для расширения пределов измерения. Входной делитель напряжения — частотнокомпенсированный.

Входной повторитель выполнен на микросхеме *МС4*. Высокое входное сопротивление повторителя достигается благодаря наличию на входе микросхемы подобранной пары полевых транзисторов. Повторитель охвачен 100%-ной обратной связью (с выхода на инвертирующий вход). При коэффициенте усиления 20 000 повторитель обладает очень низкой погрешностью в передаче входного напряжения и имеет очень высокое входное сопротивление. Напряжение смещения нуля микросхемы балансируют подстроечным резистором *R22*.

На входе повторителя имеется две системы защиты: одна от помех нормального вида, другая от перегрузок

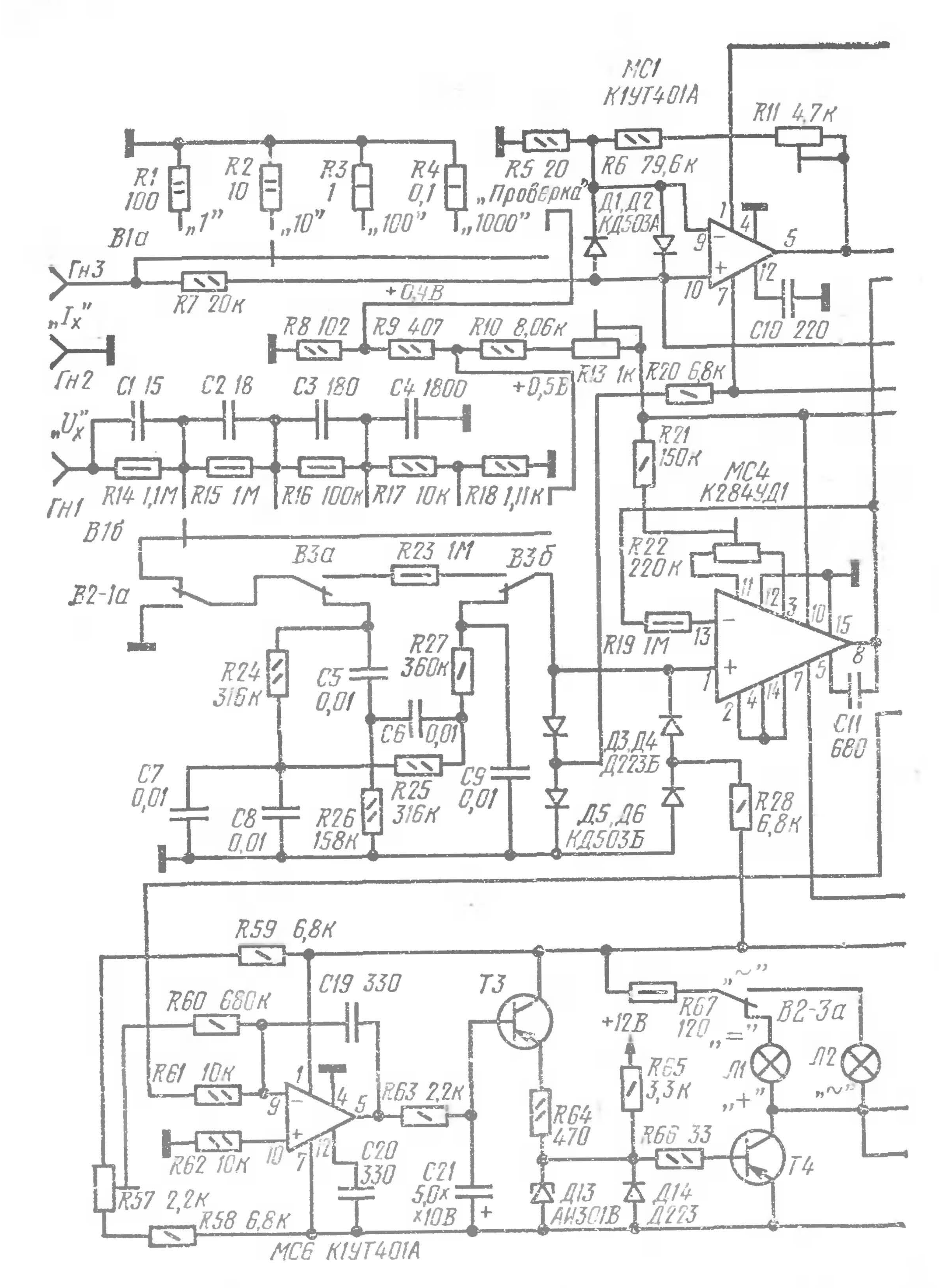
по входу. Ослабление помех, в основном промышленной частоты 50 Гц, достигается применением фильтра, состоящего из двойного Т-моста (элементы *R24 — R26*, *С5 — С8*) с включенным на его входе Г-образным *RC* фильтром (резистор *R27*, конденсатор *С9*). Защита от перегрузок по входу осуществляется диодами *Д3 — Д6* и резисторами фильтра или резистором *R23*.

Модулятор, преобразующий постоянное напряжение в разнополярный сигнал, выполнен на микросхеме *МС5*. Коммутация осуществляется линейными ключами, в качестве которых применены полевые транзисторы *Т1* и *Т2*. Благодаря высокому входному сопротивлению полевых транзисторов отпадает необходимость в трансформаторной развязке измеряемого и управляющего сигналов. Кроме того, применение полевых транзисторов повышает чувствительность и расширяет динамический диапазон преобразования, так как с их помощью можно коммутировать сигналы очень малого уровня.

Управляются полевые транзисторы по цепям затворов напряжением, поступающим с фазоинвертора. Управляющий сигнал, синхронный с выходной частотой,— разнополярный. В отрицательный полупериод управляющего сигнала открывается транзистор *Т2*, измеряемое напряжение подается на неинвертирующий вход микросхемы *МС5* и после усиления выделяется на выходе в той же фазе. В этот полупериод к затвору полевого транзистора прикладывается напряжение, закрывающее его. При положительном напряжении на затворах открывается транзистор *Т1*, измеряемое напряжение поступает на инвертирующий вход микросхемы *МС5* и после усиления выделяется на выходе в противофазе.

Таким образом, на выходе модулятора выделяется двухполярное напряжение, величина которого пропорциональна входному напряжению. Коэффициенты усиления по обоим входам выравнивают подстроечным резистором *R45*.

Определитель полярности выполнен на микросхеме *МС6*. Операционный усилитель охвачен обратной связью по постоянному току. При таком включении усилитель имеет максимальный коэффициент усиления. С целью более четкого выявления знака полярности при измерении малого входного сигнала на выходе определи-



теля включено пороговое устройство, выполненное на туннельном диоде *Д13*. Эмиттерный повторитель на транзисторе *Т3* усиливает сигнал по току. Индикаторные лампы *Л1 — Л3* включены в коллекторные цепи транзисторов *Т4, Т5*.

Фазоинвертор выполнен на транзисторе *Т6*. В его задачу входит инвертирование управляющего сиг-

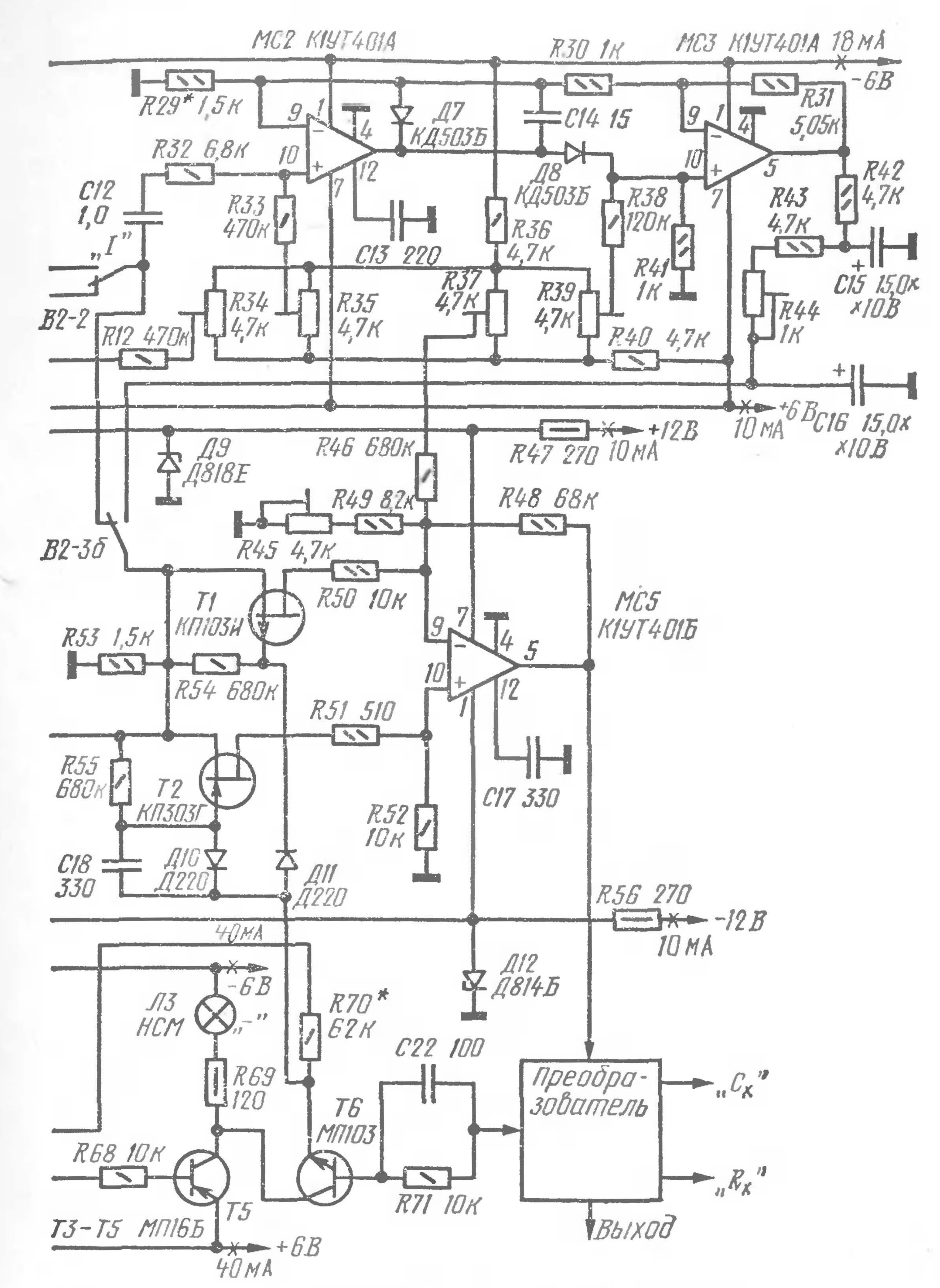


Рис. 2. Принципиальная схема прибора

нала модулятора в зависимости от полярности измеряемого сигнала. Питается фазоинвертор напряжениями, снимаемыми с коллекторов транзисторов *Т4* и *Т5*. При подаче положительного напряжения на коллектор, а отрицательного на эмиттер такой каскад работает как

обычный эмиттерный повторитель, так что полярность выходной импульсной последовательности такая же, как и входной. Если к коллектору такого каскада приложить отрицательное напряжение, а к эмиттеру — положительное, то коллектор начинает действовать как эмиттер, а эмиттер — как коллектор, теперь каскад становится инвертирующим усилителем, у которого резистор *R70* действует как коллекторная нагрузка. Выходное напряжение сдвигается по фазе на 180° относительно входного.

Следовательно, в зависимости от полярности входного напряжения осуществляется инвертирование управляющего сигнала, поступающего на модулятор.

Линейный выпрямитель выполнен на микросхемах *МС2* и *МС3*. Он преобразует входной сигнал из двухполярного (синусоидального) в однополярный (пульсирующий). Выпрямление — двухполупериодное. Это реализовано путем переключения диодов *Д7* и *Д8*, которые управляются входным сигналом и коммутируют выход микросхемы *МС2* между двумя входами *МС3*.

Положительный входной сигнал закрывает диод *Д7*, открывает *Д8* и тем самым подключает выход микросхемы *МС2* к неинвертирующему входу микросхемы *МС3*, увеличивая тем самым коэффициент усиления операционного усилителя. Отрицательный входной сигнал, наоборот, закрывает диод *Д8*, открывает *Д7* и выход микросхемы *МС3* подключается к инвертирующему входу микросхемы, тем самым уменьшая коэффициент усиления. Напряжение на выходе микросхемы *МС3* всегда остается положительным.

Двойным Г-образным *RC* фильтром (*R42, C15* и *R43, R44, C16*) из выпрямленного напряжения выделяют постоянную составляющую. Так как имеется достаточный запас по напряжению, фильтрация весьма эффективна и без применения активного фильтра.

Преобразователь ток — напряжение выполнен на калиброванном шунте (резисторы *R1* — *R4*) и операционном усилителе *МС1*. Образцовые резисторы шунта взяты с таким расчетом, чтобы падение напряжения на них составляло 100 мВ при предельной величине измеряемого тока. Полярность напряжения на выходе операционного усилителя такая же, что и на входе. Диоды *Д1* и *Д2* защищают операционный усилитель от перегрузок по входу.

Преобразователь *UCR*-параметров в частоту является одним из основных узлов, определяющих точность измерений устройства. До недавнего времени, когда число измеряемых параметров по роду работы было ограниченным, более широкое применение имело такое построение приборов, когда все измеряемые параметры приводились к одному, чаще всего к напряжению постоянного тока, а последнее непосредственно преобразовывалось в частоту или период.

Сейчас же, когда функциональные возможности прибора постоянно расширяются, измерение таких параметров, как емкость и индуктивность, на постоянном токе встречает определенные трудности. Кроме того, приборам с преобразователем параметров в постоянный ток свойствен сравнительно большой суммарный дрейф усилителей и интегратора, в результате чего появляется необходимость в дополнительном узле автоматической коррекции нуля.

Все это приводит к тому, что в настоящее время для улучшения метрологических характеристик преобразователей переходят к построению преобразователей на основе коммутационного способа с переменой знака интегрирования. При этом способе измерительную цепь включают в замкнутую автоколебательную систему, генерирующую релаксационные колебания, пропорциональные величине измеряемого параметра. В результате процесс преобразования *RC*-параметров в частоту приближается к процессу их измерения на переменном токе. Главное достоинство данного способа в том, что погрешность преобразования, обусловленная дрейфом нуля операционных усилителей, значительно меньше, так как под воздействием напряжения дрейфа один из полупериодов увеличивается, а другой — уменьшается, а в целом период остается практически постоянным.

В данном приборе содержится три преобразователя: напряжения в частоту, емкости в частоту и сопротивления в частоту. Каждому из них свойствен свой собственный алгоритм работы. Однако с целью упрощения конструкции все они выполнены на одной элементной базе.

Структурные схема преобразователей и временные диаграммы напряжений в характерных точках преобразователей, поясняющих их работу, приведены на рис. 3—5.

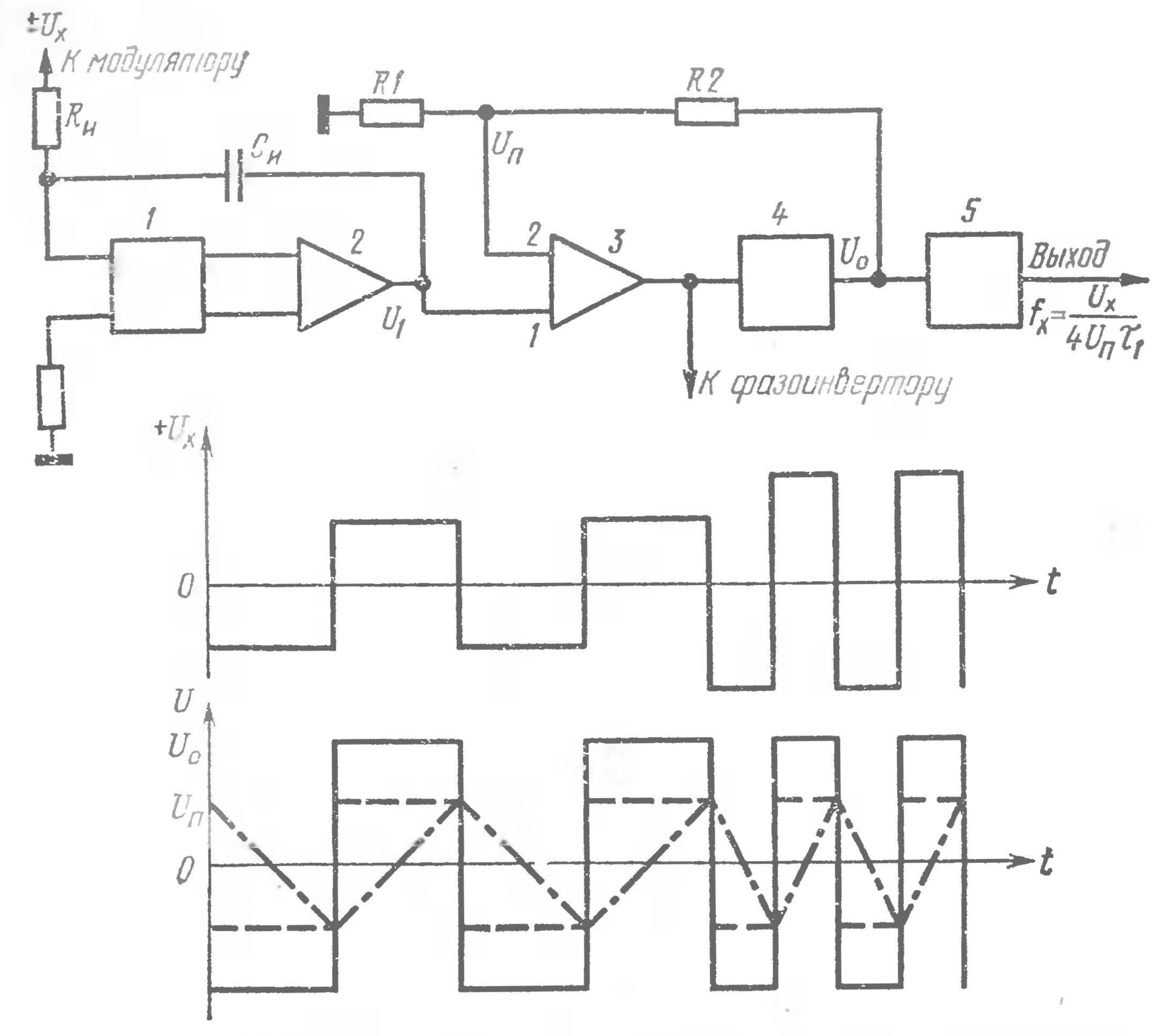


Рис. 3. Структурная схема преобразователя напряжения в частоту и эпюры напряжений

Преобразователь напряжения в частоту (рис. 3) состоит из интегратора *2* с эмиттерным повторителем *1* на входе, устройства сравнения *3*, формирователя опорного напряжения *4*, делителя опорного напряжения *R1R2* и усилителя мощности *5*. Измеряемая величина, преобразованная предварительно модулятором в разнополярный сигнал, подается через эмиттерный повторитель на вход интегратора. Основу интегратора составляет операционный усилитель с интегрирующей *RC*-цепочкой в цепи обратной связи. Эмиттерный повторитель на входе увеличивает входное сопротивление интегратора, а следовательно, и точность выполнения интегрирования.

С интегратора полученное линейно изменяющееся напряжение поступает на вход *1* устройства сравнения. На второй вход этого устройства подается пороговое напряжение $U_п$ с делителя *R1R2*.

В момент достижения линейно изменяющимся напряжением уровня $U_п$ изменяется полярность напряжения на выходе устройства сравнения и как следствие изменяется полярность порогового напряжения $U_п$ и измеряемого напряжения U_x (через цепь фазоинвертор — модулятор). Далее процесс повторяется с чередованием знаков перепадов напряжений.

Формирователь опорного напряжения устанавливает уровни разнополярного напряжения строго определенной величины.

Из временных диаграмм видно, что увеличению напряжения U_x соответствует увеличение скорости интегрирования напряжения, уменьшение периода импульсной последовательности, т. е. увеличение выходной частоты.

Преобразователь емкости в частоту (рис. 4) состоит из тех же узлов, что и рассмотренный преобразователь, но в него добавлен второй интегратор *6* и эмиттерный повторитель *7*. Включение последнего обусловлено следующим. Непосредственно величина C_x прямо пропорциональна периоду и обратно пропорциональна частоте. Но так как за основу устройства положен частотно-импульсный метод, т. е. увеличению измеряемого параметра должно соответствовать увеличение частоты, зависимость C_x от частоты необходимо изменить. Это и достигается вторым интегратором.

На вход интегратора *6* подается сформированный по амплитуде сигнал U_0. Постоянная времени $R_{п2}C_{п2}$ постоянна, следовательно, и скорость интегрирования линейно изменяющегося напряжения на выходе второго интегратора также всегда постоянна. Поэтому малой частоте соответствует большая амплитуда треугольного напряжения на интеграторе *6* и наоборот.

Измеряемая емкость C_x включена между выходом второго интегратора и входом интегратора *2*, отрицательная обратная связь в котором осуществляется через образцовый конденсатор C_0. При достаточно больших коэффициентах усиления используемых усилителей постоянного тока частота выходных импульсов может быть определена из выражения: $f = C_xU_0/C_0U_п\tau_2$, где τ_2 — постоянная времени интегрирующей цепи $R_{п2}C_{п2}$.

Преобразователь сопротивления в частоту (рис. 5) по сравнению с предыдущим преобразователем не содержит ни второго интегратора, ни делителя опорного напряжения. Получение линейной зависимости преобразования сопротивления в частоту достигается благодаря

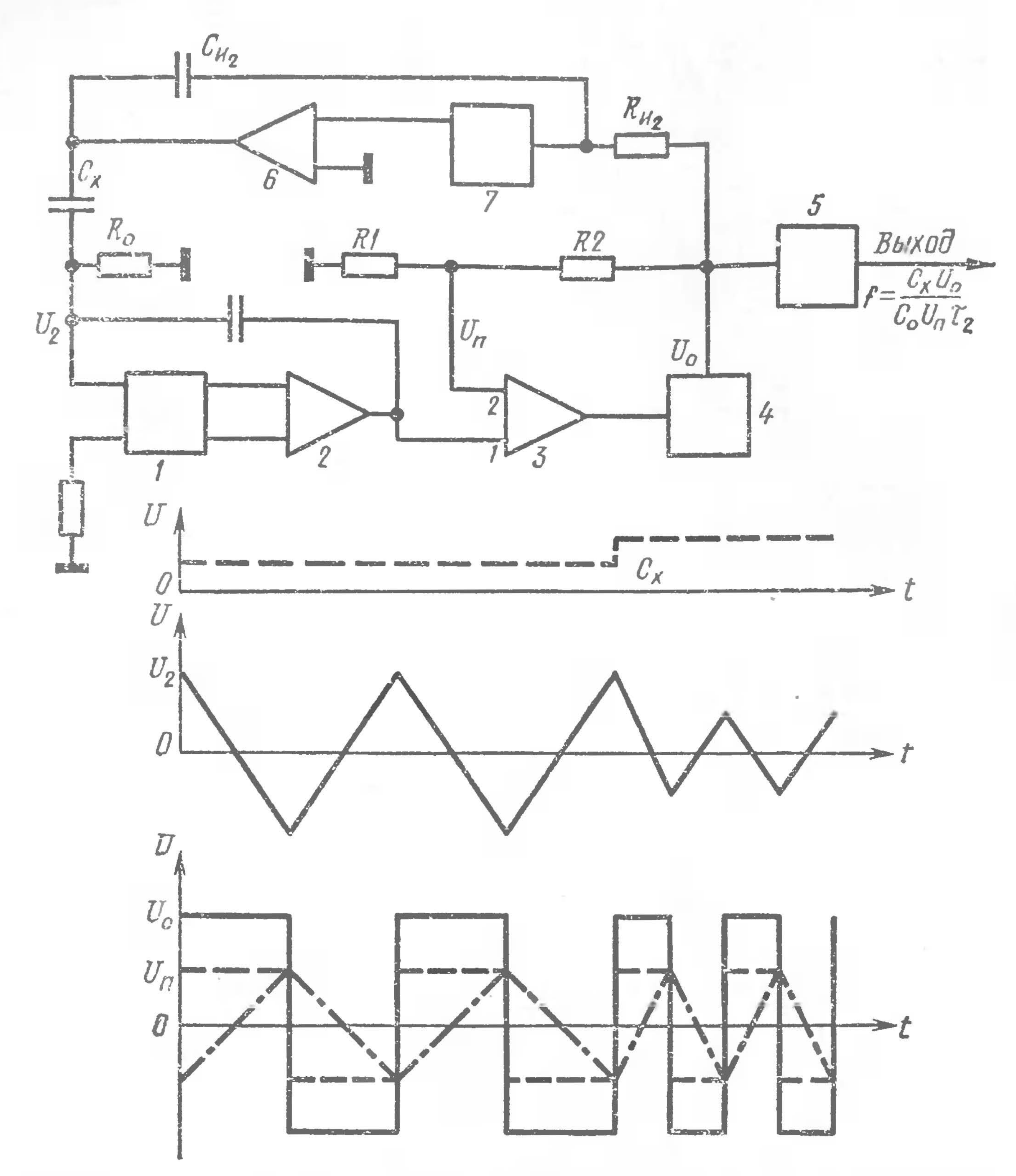


Рис. 4. Структурная схема преобразователя емкости в частоту и эпюры напряжений

своеобразному использованию неинвертирующего входа интегратора.

Разнополярные напряжения выходного напряжения с амплитудой U_0 подаются непосредственно на инвертирующий вход и через делитель, состоящий из образцового и измеряемого резисторов (R_0 и R_x), на неинвертирующий вход интегратора. Напряжение на выходе интегратора изменяется линейно со скоростью пропорциональной разности напряжений на его входах.

Выходное напряжение с интегратора подается на вход *2* устройства сравнения. Вход *1* соединен с общим проводом. Срабатывание устройства сравнения происхо-

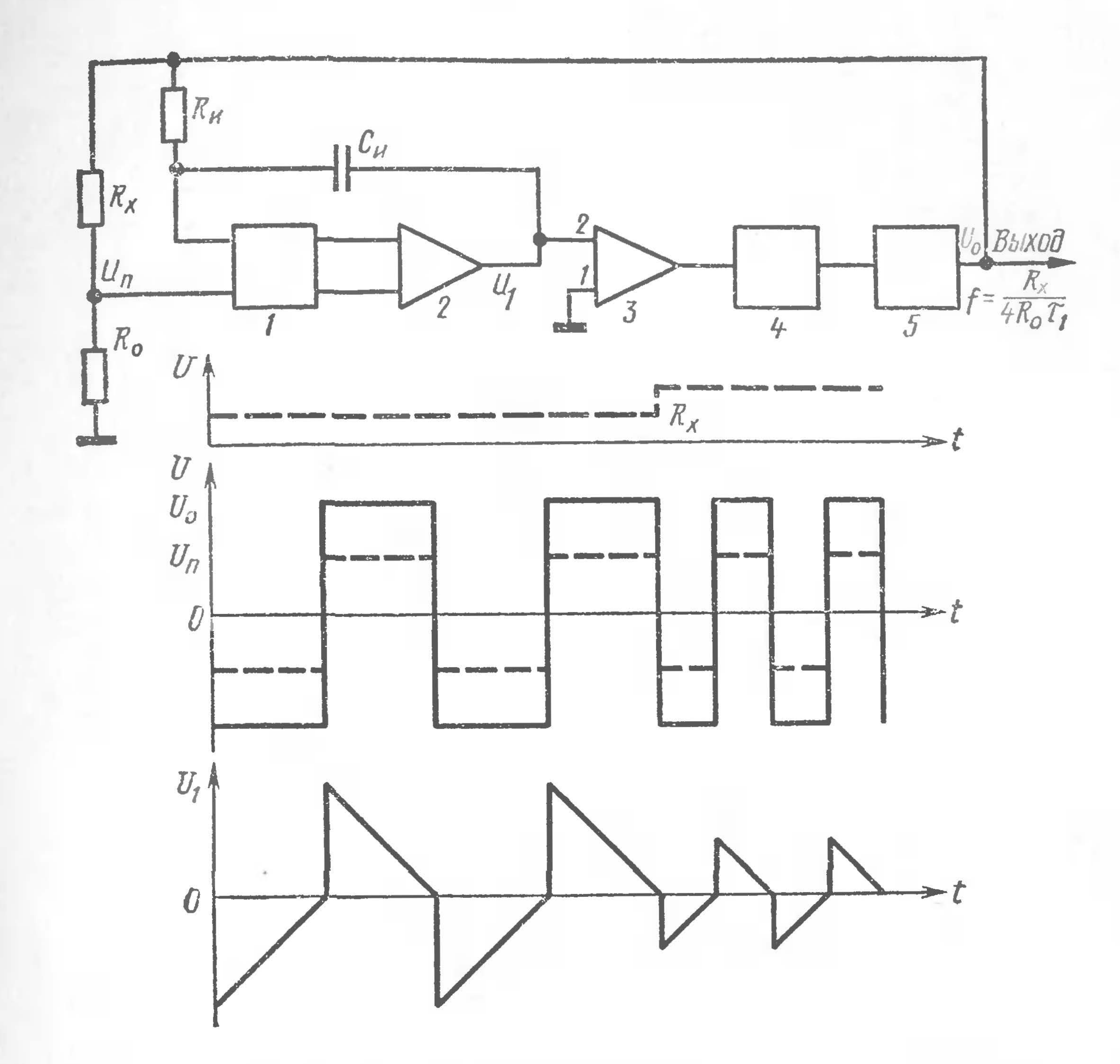


Рис. 5. Структурная схема преобразователя сопротивления в частоту и эпюры напряжений

дит в момент, когда линейно изменяющееся напряжение достигает нулевого уровня. В результате этого изменяется полярность его выходного напряжения, а также полярность скачка напряжения на выходе интегратора и знак производной его линейно изменяющегося напряжения. В течение одного периода таких скачков два: один — положительный, другой — отрицательный.

Таким образом, при увеличении сопротивления R_x уменьшается напряжение на входе *2* интегратора, увеличивается разность напряжения на его входах, уменьшается амплитуда скачка, увеличивается скорость изменения напряжения на выходе интегратора, увеличивается частота выходных колебаний. Последняя может быть определена из выражения: $f = R_x/4\tau_1 R_0$, где τ_1 — постоянная времени интегрирующей цепи $R_и C_и$, R_0 — сопро-

тивление образцового резистора, который переключается в зависимости от предела измерений.

При измерении малых сопротивлений измерительная цепь становится низкоомной, увеличение нагрузочной способности устройства достигается применением на выходе усилителя мощности *5*, который фактически является преобразователем напряжения в ток.

Принципиальная схема преобразователей приведена на рис. 6. Эмиттерные повторители, стоящие на входах интеграторов, выполнены на микросхемах *МС7* и *МС10*. Для снижения напряжения на переходах транзисторов до допустимой величины объединенные коллекторы подключены к источнику питания через делитель *R110R98*. Эмиттерный ток транзисторов микросхемы *МС7* задается резисторами *R91* и *R92*.

Интеграторы выполнены на операционных усилителях *МС8* и *МС11*. Балансировка микросхемы *МС8* производится подстроечным резистором *R93*. Стабилизация рабочей точки операционного усилителя *МС11* по постоянному току осуществляется благодаря цепи обратной связи (элементы *R108, R109, C33, C34*).

Устройство сравнения выполнено на микросхеме *МС9*. С его выхода сигнал поступает на фазоинвертор и формирователь опорного напряжения U_0. Последний вырабатывает разнополярные импульсы со стабильной амплитудой. Стабилизация амплитуды осуществляется кремниевым стабилитроном, включенным в диагональ диодного моста *Д15 — Д18*. Ветви моста переключаются входными импульсами. Положительные сигналы ограничиваются, когда открыты диоды *Д15* и *Д18*, отрицательные — при открытых *Д16* и *Д17*.

Ограниченная таким образом импульсная последовательность поступает на усилитель мощности — составной транзистор, выполненный на параллельно включенных транзисторах *Т7, Т8* и *Т9, Т10*, соединенных по схеме эмиттерного повторителя, и делитель *R96R97*, с которого снимается пороговое напряжение $U_п$.

Указанное на схеме положение переключателей соответствует режиму измерения напряжения. Нажатием кнопочного переключателя *В2-4* устройство переводится в режим измерения емкости. В цепь обратной связи микросхемы *МС8* в зависимости от предела измерений подключается один из конденсаторов *С25 — С28*. После-

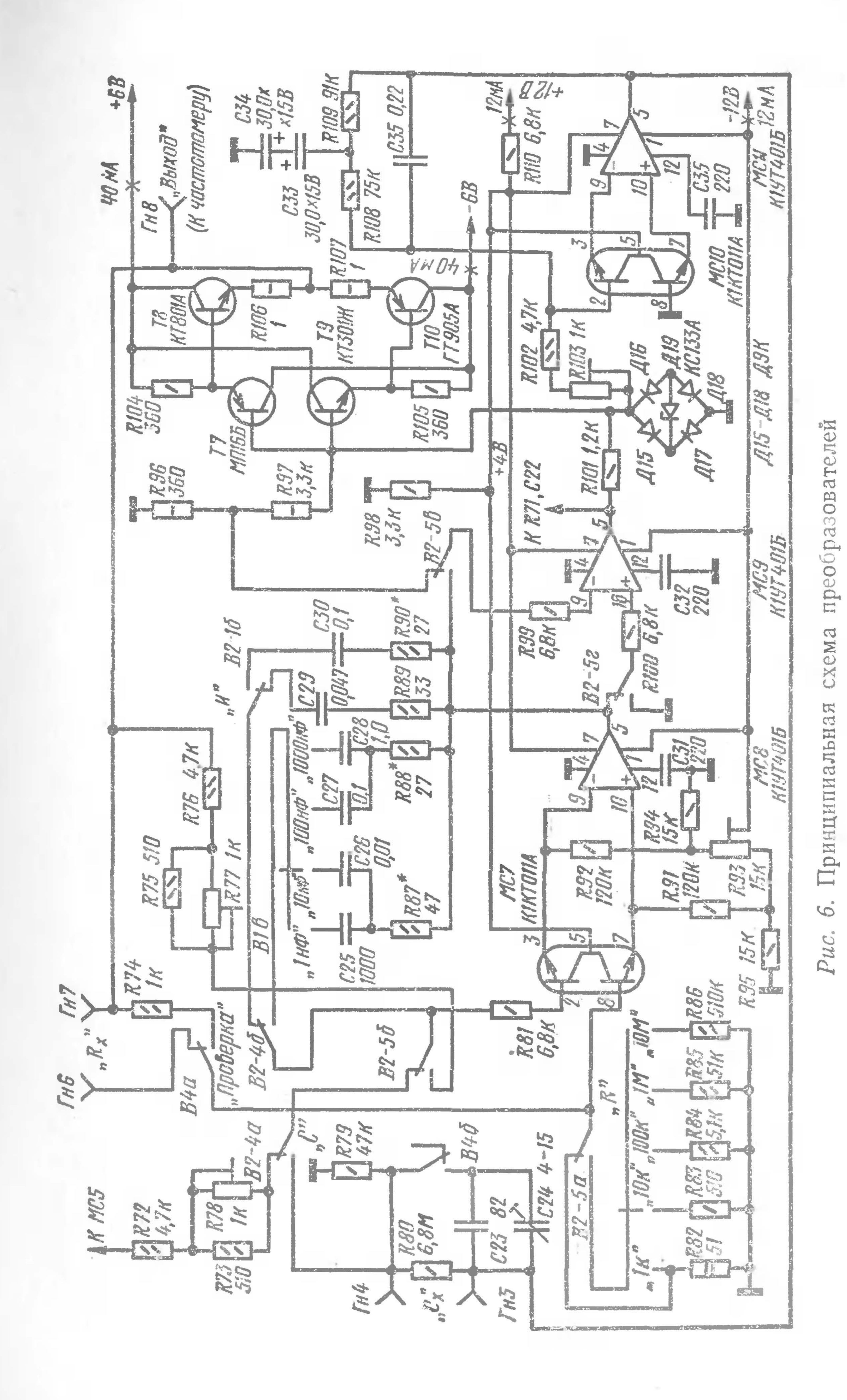


Рис. 6. Принципиальная схема преобразователей

довательно с конденсаторами включены резисторы *R87*, *R88*. Они частично компенсируют погрешность нелинейности преобразования, обусловленную конечными значениями коэффициента усиления и полосы пропускания операционных усилителей, на которых выполнены интеграторы. Сопротивление указанных резисторов подбирают экспериментально.

Нажатием кнопки *B2-5* устройство переводится в режим измерения сопротивлений. Образцовые резисторы *R82* — *R86* определяют пределы измерения сопротивлений. Кнопочный переключатель *B4 «Проверка»* предназначен для контроля работоспособности прибора. В режиме измерения сопротивлений этим переключателем отключается измеряемый резистор и подключается внутренний, образцовый резистор *R74* сопротивлением 1 кОм. В режиме измерения емкостей параллельно входным гнездам «C_x» подключаются конденсаторы *C23* и *C24*, суммарная емкость которых вместе с входной емкостью устройства равна 100 пФ. В этом же положении производится измерение емкостей менее 100 пФ. В противном случае входная емкость устройства вносит значительную погрешность при измерении малых емкостей.

Детали и конструкция. На детали устройства следует обратить особое внимание, поскольку ими во многом определяются качественные показатели измерений. Важно не только выполнить делитель с высокой точностью, но и выбрать такие типы элементов, которые бы имели минимальные температурные коэффициенты и токи утечки.

К транзисторам и диодам особых требований не предъявляется, и они могут быть заменены другими, аналогичными по структуре и мощности. Следует лишь ограничить для транзистора *T6* коэффициент передачи тока до 15—30, а диоды *Д3* и *Д4* выбирать с возможно большими обратными сопротивлениями. Туннельный диод АИ301В можно заменить на АИ301Б, диоды КД503 — на КД509, КД522.

Переключатель *B1* — галетный 5П4НПМ; *B2, B4* — кнопочные П2К. Лампы *Л1* — *Л3* — НСМ50 (10 В; 50 мА).

Трансформатор питания намотан на сердечнике УШ12×24. Обмотка *I* содержит 3600 витков провода ПЭВ 0,1, *II* и *III* — по 250 витков провода ПЭВ 0,31.

Конструктивно измерительное устройство можно выполнить в виде приставки или, что значительно удобней, вмонтировать во внутрь цифрового частотомера. Автором был использован промышленный счетный прибор ПСО2-2еМ, выполненный на интегральных схемах. В нем были изъяты три платы: первая и шестая декады и входное устройство. На их месте и было размещено данное устройство. Были добавлены также источники питания +6 и +12 В. На переднюю панель вынесен переключатель рода работы, на заднюю — все гнезда и переключатель пределов. Однако это не создает неудобств в работе, так как положение пределов измерений индицируется переносом запятой.

Время измерения — 0,1 и 1 с. Ручное управление дополнено автоматическим с временем индикации 1, 2 и 4 с. Введен также режим, когда данный прибор работает как электронные часы.

Платы выполнены печатным способом на фольгированном стеклотекстолите толщиной 1,5 мм. Монтаж двусторонний. Детали переключаемых делителей, входного фильтра и времязадающих цепей расположены на отдельной плате, которая размещена около переключателя *B1*. Входную высокоомную цепь целесообразно подключить не через общий разъем РГП, а установить на плате фторопластовую стойку, к которой припаять детали, и неразъемным экранированным кабелем соединить непосредственно с переключателем *B3*.

Налаживание устройства не сложно, но требует большой аккуратности и чистоты работы. Обязательными приборами для настройки должны быть цифровой частотомер и осциллограф с открытым входом и высокой чувствительностью (около 10 мВ).

Налаживать устройство рекомендуется по узлам. Сначала проверяют источники питания. Режимы работы микросхем и транзисторов по постоянному току, а также форму сигналов в динамическом режиме проверяют осциллографом.

Узлы просты и начинают работать сразу, требуется только уточнить режим их работы. У микросхем в первую очередь проверяют напряжение на их выходе. Для балансировки выходного напряжения почти каждая микросхема имеет подстроечный резистор напряжения смещения.

Преобразователь сопротивления в частоту настраива-

ют при нажатом переключателе *В2-5* «Измерение R_x». Устанавливают переключатель поддиапазонов *В1* в положение *«10»*, *В4* — в положение *«Проверка»*. Узел *МС7* — *МС11* и усилитель мощности переходят в автоколебательный режим с частотой следования импульсов около 1 кГц. Просматривают форму напряжений на выходах и входах всех узлов, используемых в этом режиме.

Симметричность амплитуд выходных импульсов обеспечивается стабилитроном *Д19*. Подстроечным резистором *R77* точно устанавливают выходную частоту 1 кГц, соответствующую сопротивлению образцового резистора *R74* 1 кОм. Если предела регулировки не хватает, подбирают резистор *R76*.

Затем проверяют линейность характеристики преобразования по поддиапазону. Для этого выключают режим *«Проверка»* и ко входу «R_x» (гнезда *Гн6* и *Гн7*) подключают набор резисторов, переключаемых вспомогательным переключателем, с номиналами сопротивлений от 0,1 Ом до 10 МОм и декадным шагом. Все восемь резисторов должны быть предварительно измерены образцовым прибором с точностью до четырех знаков. При налаживании следует руководствоваться этими величинами. Такой набор резисторов позволяет просматривать любой поддиапазон в четырех-пяти точках.

Для ускорения настройки целесообразно резисторы *R81* и *R90* временно заменить переменными с сопротивлениями 10 кОм и 100 Ом.

Выравнивание характеристики в области малых сопротивлений (частот) производят резистором *R81*. Здесь же на возможно малых частотах устанавливают равенство полупериодов выходного сигнала с помощью резистора *R93*. Если это выполнить не точно, то уже при частоте 3—6 Гц колебания срываются (нормальным считается, если срыв происходит на частоте около 1 Гц).

Наклон характеристики в области больших сопротивлений (частот) устанавливают подбором резистора *R90*. Следует учесть, что этот резистор оказывает заметное влияние и на средние частоты, поэтому при каждом изменении его сопротивления необходимо заново устанавливать частоту 1 кГц. Настройка считается законченной, если показания прибора в контрольных точках поддиапазона 10 и 1 кОм, 100 и 10 Ом отличаются не более чем

на единицу от величин образцовых резисторов. Динамический диапазон линейной характеристики 80 дБ. Временные переменные резисторы *R81* и *R90* заменяют соответствующими постоянными.

Линейность характеристики преобразования на других поддиапазонах сохраняется. Вся регулировка здесь сводится только к уточнению сопротивлений резисторов *R82, R84* — *R86*.

Преобразователь емкости в частоту налаживают аналогично при нажатом переключателе *«Измерение C_x»*. Ко входу «C_x» (гнезда *Гн5* и *Гн4*) подключают набор конденсаторов с емкостями от 1 пФ до 1 мкФ и декадным шагом, также предварительно измеренных образцовым прибором. Налаживание на одном из поддиапазонов, например, 10 нФ (0,01 мкФ) производят: в средней части — резистором *R103*, в области больших емкостей (частот) — подбором *R87 (R88)*.

Динамический диапазон измерения емкостей у́же и составляет 60 дБ. На частотах ниже 10 Гц наблюдается ограничение вершин треугольного напряжения на выходе микросхемы *МС11* (вывод *5*), что приводит к нелинейности характеристики преобразования. Если ограничение начинается с одной стороны (сверху или снизу) раньше, чем с другой, симметрирование производят подбором резистора *R103*.

Налаживание на других поддиапазонах заключается в уточнении интегрирующих конденсаторов *С25, С27* и *С28*.

Далее калибруют величину контрольной емкости *«100 пФ»*. Для этого переключатель пределов устанавливают в положение *«1нФ»* и подключают ко входу «C_x» образцовый конденсатор 100 пФ. Нажатием и отжатием кнопки *«Проверка»* и поворотом ротора подстроечного конденсатора *С24* добиваются такого положения, при котором к показаниям частотомера добавляется ровно 1000(100).

Преобразователь напряжения в частоту налаживают в положении *«Измерение U_x»*. Свободный вход фазоинвертора (*R71, С22*) временно соединяют с корпусом. К выводу *8* микросхемы *МС4* подключают осциллограф. Подают питание на входной повторитель, модулятор и определитель полярности. Если на выходе входного повторителя наблюдаются высокочастотные колебания, не-

обходимо устранить самовозбуждение усилителя, увеличив емкость конденсатора *C11*. Однако значительно увеличивать эту емкость не следует, так как при этом сужается полоса пропускания повторителя. Резистором *R22* балансируют повторитель так, чтобы напряжение на его выходе было равно нулю.

Переключают осциллограф к выводу *5* микросхемы *МС5*. Самовозбуждение каскада устраняют подбором конденсатора *С17*, разбалансировку — резистором *R37*. Затем подключают осциллограф к коллектору транзистора *Т5*. Вращая движок резистора *R57* в одну и в другую сторону, наблюдают за скачкообразным изменением напряжения от —6 до +6 В, а также за переключением знаков плюс и минус.

После этого восстанавливают все цепи для измерения напряжения: выход микросхемы *МС5* (вывод *5*) соединяют со входом преобразователя напряжения в частоту, а выход микросхемы *МС3* (вывод *5*) — с входной цепью фазоинвертора *R71, С22*. Ко входу «U_x» подключают вспомогательное устройство (рис. 7), состоящее из образцовых резисторов сопротивлением 0,1; 1, 10, 100 и 1000 Ом, которые использовались ранее при налаживании омметра. С помощью сдвоенного тумблера производят изменение полярности напряжения с точным сохранением его величины. Переменным резистором 1 кОм устанавливают с возможно большей точностью напряжение 1 В. Декадный шаг 100, 10, 1 и 0,1 мВ обеспечивается образцовыми резисторами.

Со вспомогательного устройства (рис. 7) на вход «U_x» подают напряжение 100 мВ. Осциллограф подключают к выходу микросхемы *МС5*. На экране осциллографа должно наблюдаться разнополярное напряжение амплитудой около 400 мВ. Выравнивание амплитуд относительно нулевой линии достигается подстройкой резистора *R45*.

Резистором *R78* по частотомеру устанавливают выходную частоту, равную 1 кГц. От переключения вспомогательного тумблера должен измениться индицируемый знак, а показание частотомера при этом должно остаться таким же. Проделать эту операцию необходимо во всех контрольных точках. При малых напряжениях выравнивание показаний осуществляют резистором *R22*, а в области больших напряжений — подбором резистора

R70. При малых напряжениях уточняют также равенство полупериодов выходного напряжения модулятора (резистором *R37*).

Затем проверяют линейность характеристики преобразования по поддиапазону, как было описано ранее: в средней зоне — подстроечным резистором *R78*, при больших напряжениях — подбором резистора *R89*.

Наконец, устанавливают переключатель пределов измерений в положение *«Проверка»*. Подстроечным резистором *R13* на вход устройства подают напряжение

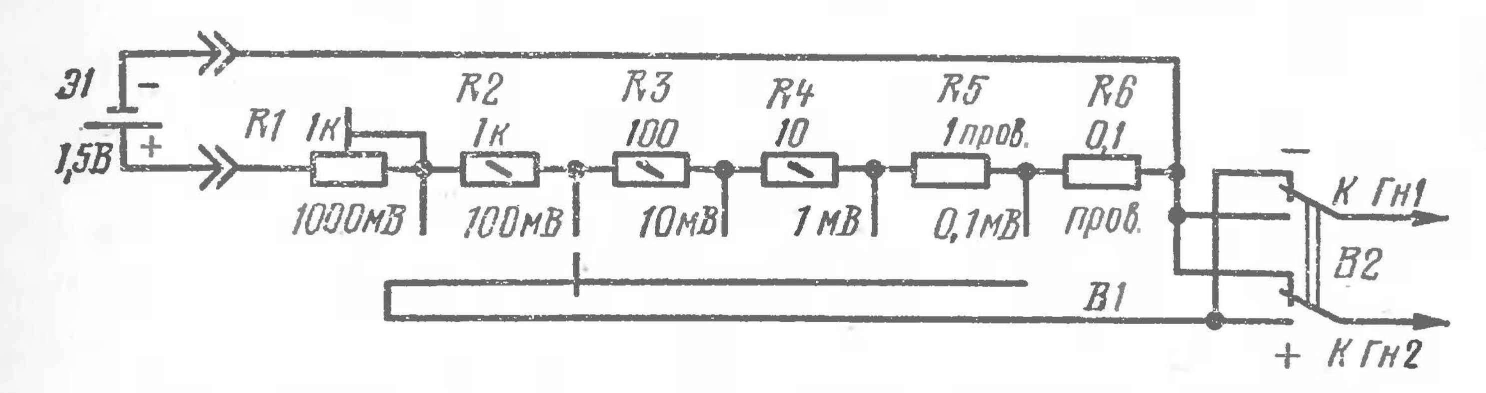


Рис. 7. Принципиальная схема вспомогательного устройства

+0,5 В, что соответствует выходной частоте 10 кГц. Впоследствии это положение будет контрольным.

Преобразователь ток — напряжение налаживают в положении *«Измерение F_x»*. Осциллограф подключают к выходу микросхемы *МС1*. Напряжение смещения микросхемы балансируют резистором *R34*. Переключатель пределов устанавливают в положение *«Проверка»*. На вход усилителя в этом случае подают напряжение +100 мВ, что соответствует выходной частоте 10 кГц. Соответствие корректируют изменением коэффициента усиления усилителя с помощью резистора *R11*. Налаживание внутри поддиапазонов заключается в точном подборе сопротивлений резисторов *R1* — *R4*. При смене полярности входного тока, добиваясь равенства показаний, уточняют положение движка резистора *R34*.

Линейный выпрямитель налаживают при одновременном нажатии двух кнопок: «~» и «U_x». Напряжение смещения нуля микросхем *МС2* и *МС3* балансируют соответственно резисторами *R35* и *R39*. На вход «U_x» подключают вспомогательное устройство, у которого источник постоянного тока заменен источником переменного напряжением 1,5 В. Резистором сопротивлением 1 кОм устанавливают напряжение 1 В (амплитуда

1,415 В). Переключатель *В1* устанавливают в положение «*100 мВ*» (переключатель устройства — в положение 1 В). С помощью осциллографа просматривают форму сигнала на входах и выходах микросхем *МС2* и *МС3*. На входе и выходе микросхемы *МС2* она синусоидальная, на входах *МС3* — однотактный полупериод, на ее выходе — двухтактный (пульсирующее напряжение положительной полярности).

Во время одного полупериода, а именно при усилении положительного сигнала, когда оба усилителя охвачены общей цепью обратной связи, может возникнуть самовозбуждение усилителей, которое проявляется в виде «звона» (на выходе микросхемы *МС3*). Устраняют его подбором конденсатора *С14*.

Равенство амплитуд просматривают во всех контрольных точках и корректируют в области малых напряжений резистором *R35*, в области больших напряжений — подбором резистора *R29*. В связи с взаимным влиянием резисторов при каждом изменении резистора *R29* уточняют положение движка резистора *R35*.

Соответствие измеряемого напряжения (эффективного значения) с выходной частотой добиваются резистором *R44*. Нулевому входному напряжению должна соответствовать «нулевая» частота. Этого достигают подстроечным резистором *R39*.

Пути дальнейшего совершенствования универсального цифрового измерительного устройства: при самостоятельном конструировании частотомера совместить данное устройство в единое целое, дополнить родом работы «*Измерение* L_x», выполнить индикацию знака полярности и размерности измеряемой величины на индикаторных лампах, ввести режим автоматического выбора пределов измерений.

РАДИОПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА

ПРОСТАЯ КОРОТКОВОЛНОВАЯ ПРИСТАВКА НА ТРАНЗИСТОРАХ

А. КОВАЛЬ, И. КОЛОДЯЖНЫЙ

Приставка обеспечивает прием программ радиовещательных станций в КВ диапазоне при подключении ее к любому супергетеродинному приемнику, работающему в СВ диапазоне, без дополнительных его переделок.

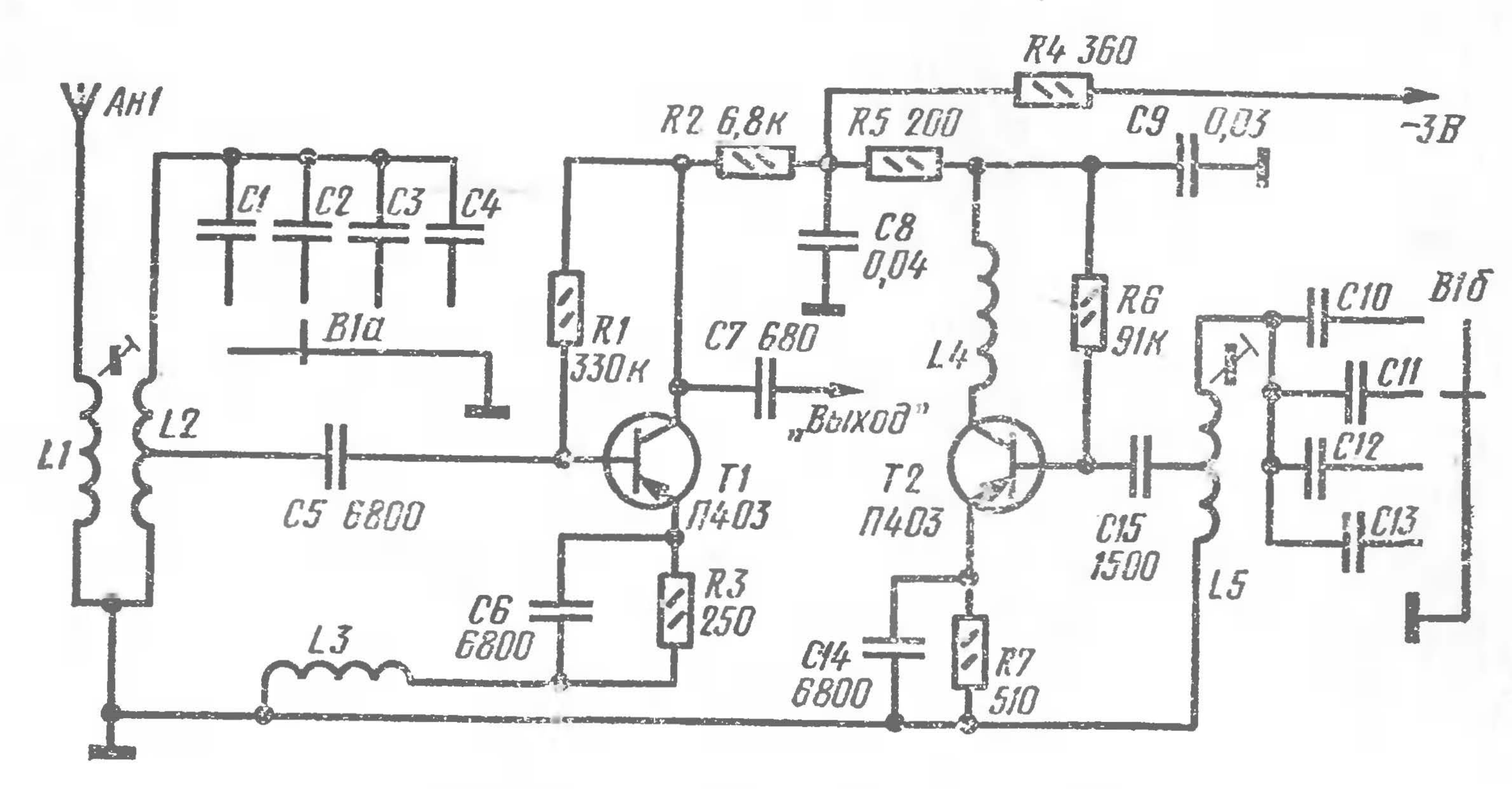
Чувствительность приемника с приставкой достаточна для уверенного приема удаленных радиостанций. Приставка обеспечивает прием на любом коротковолновом диапазоне. Прием ведется на наружную антенну — отрезок провода длиной 1—1,5 м. Питается приставка от двух элементов напряжением 1,5 В (например, 373), соединенных последовательно. Потребляемый ток около 2 мА. Емкости такой батареи достаточно более чем на 100 часов непрерывной работы. Кроме того, приставка некритична к напряжению источника питания. Она устойчиво работает при напряжении от 1,5 до 9 В.

Принципиальная схема приставки изображена на рисунке. Гетеродин выполнен на транзисторе *Т2*, а преобразователь частоты собран на транзисторе *Т1*.

Контур гетеродина образован катушкой *L5*, индуктивно связанной с катушкой *L4*, включенной в цепь коллектора транзистора *Т2*, и одним из конденсаторов *С10* — *С13*, в зависимости от положения переключателя *В1*. Положительная обратная связь обеспечивается конденсатором *С15*, через который переменное напряжение с катушки контура гетеродина поступает на базу транзистора. Генерируемые гетеродином колебания через катушку *L3*, индуктивно связанную с катушкой *L5*, подаются в цепь эмиттера транзистора *Т1*.

Сигналы на базу *Т1* поступают со входного контура, образованного катушкой *L2*, индуктивно связанной через катушку *L1* с антенной, и одним из конденсаторов *С1*—*С4*. Преобразованные в колебания средневолнового диапазона с нагрузки транзистора *Т1* (резистор *R2*), они поступают на подключенный к выходу приставки радиоприемник, работающий в СВ диапазоне.

Элементы приставки вместе с батареей питания монтируют на гетинаксовой плате размером 99×44×2 мм.



Принципиальная схема приставки

В приставке могут использоваться резисторы МЛТ-0,125 или УЛМ, конденсаторы ПМ или КПК-М (в колебательных контурах), БМ-2 и МБМ. Переключатель поддиапазонов — малогабаритный 5П2НПМ. Вместо транзисторов П403 можно использовать П411 или П416.

Катушки наматывают на двух стандартных каркасах из гетинакса диаметром 7,5 мм с сердечниками из феррита диаметром 3 мм. Катушки *L1* и *L2* наматывают на одном каркасе, а *L3* — *L5* — на другом. Намотка катушки *L1* — внавал, остальных — в один слой, виток к витку. Расстояние между обмотками катушек *L1* и *L2* на каркасе равно 3 мм. При намотке катушек *L3* — *L5* сначала следует намотать катушки *L3* и *L5*, а затем, поверх них, на подвижной бумажной гильзе катушку *L4*. Витки катушек считают от соединенного с общим проводом вывода. Остальные намоточные данные катушек приведены в табл. 1.

При монтаже деталей приставки необходимо обращать особое внимание на длину и взаимное расположение соединительных проводников, так как это сильно влияет на емкость монтажа. Проводники, по возможности, делают минимальной длины и не перекрещивают. Из-за различной емкости монтажа при сборке в каждом отдельном случае емкости конденсаторов в контурах

Таблица 1

Обозначение по схеме	Число витков	Провод
L1	40	ПЭЛШО 0,12
L2	3+16	ПЭЛШО 0,4
L3	0,5	ПЭЛШО 0,22
L4	3,5	ПЭЛШО 0,22
L5	2+16	ПЭЛШО 0,4

C1 — *C4* и *C10* — *C13* могут отличаться более чем на 50%. В табл. 2 даны примерные значения емкостей конденсаторов входного и гетеродинного контуров одного из вариантов изготовленной приставки.

Таблица 2

Поддиапазон, м	Граничная частота, МГц	$C_{вх}$, пФ	$C_г$, пФ
25	11,7—11,9	47 (*C1*)	36 (*C10*)
31	9,5—9,7	75 (*C2*)	68 (*C11*)
41	7,0—7,3	100 (*C3*)	91 (*C12*)
49	6,0—6,2	130 (*C4*)	120 (*C13*)

Правильно собранная приставка, как правило, сразу начинает работать. В ее работоспособности можно убедиться следующим образом. Сначала включают приемник без приставки на средневолновом диапазоне 175—300 м и добиваются того, чтобы не было приема сигналов радиостанций. Затем выход приставки подключают к гнезду *«Антенна»* в приемнике, а ко входу приставки — антенну. При приеме на самом длинноволновом поддиапазоне (например, 49 м), вращая отверткой из немагнитного материала сердечник катушек гетеродина *L3* — *L5*, настраивают приставку на сигналы одной из станций коротковолнового диапазона. Если этого сделать не удается, меняют местами выводы катушки *L4*.

Налаживание приставки сводится к подбору емкостей конденсаторов входного и гетеродинного колебательных контуров. Отключив антенну, на вход приставки с генератора стандартных сигналов подают сигнал наи-

большей граничной частоты поддиапазона 49 м — 6,2 МГц, промодулированный звуковой частотой. Стрелку шкалы приемника устанавливают на отметку, соответствующую наименьшей длине волны средневолнового диапазона,— 175 м. Затем вращают сердечник гетеродинных катушек до тех пор, пока не будет прослушиваться сигнал.

Нижней граничной частоте поддиапазона 49 м — 6 МГц будет соответствовать отметка шкалы в районе 300 м. Далее, поочередно уменьшая амплитуду несущей регулятором в генераторе и вращая сердечник катушек *L1, L2* входного контура, добиваются наибольшей чувствительности приставки (по наибольшей громкости звука). Передвигая катушку *L4* по *L5*, находят такое положение, при котором шум и искажения сигнала будут наименьшими при достаточной громкости.

На остальных поддиапазонах настройка ведется только подбором конденсаторов входного и гетеродинного контуров.

Переключив приставку для приема на следующем поддиапазоне 41 м, с генератора подают сигнал частотой 7,3 МГц — верхняя граничная частота поддиапазона. Подбирая конденсатор гетеродинного контура, добиваются приема сигнала на участке шкалы приемника 175 м, а подбирая конденсатор входного контура,— наиболее громкого приема сигнала. На остальных поддиапазонах приставку настраивают аналогично. Следует отметить, что на каждом поддиапазоне необходимо проверять, где находится нижняя граничная частота. Если она не соответствует участку 300 м, то это указывает на то, что настройка велась не на основной частоте, а на одной из ее гармоник. В этом случае снова подбирают конденсатор гетеродинного контура, пока прием на поддиапазоне не будет соответствовать приему на участке 175—300 м.

Настроив приставку, отключают генератор, подключают антенну и прослушивают сигналы радиостанций коротковолнового диапазона, настраивая супергетеродинный приемник на участке 175—300 м.

Налаживание приставки можно упростить, осуществив небольшую переделку. Вместо переключателя поддиапазонов и набора конденсаторов входного и гетеродинного контуров устанавливают сдвоенный блок

переменных конденсаторов. В этом случае сначала настраивают приемник так, чтобы не было приема радиостанций на участке шкалы 175—300 м. Ручку блока переменных конденсаторов устанавливают в такое положение, при котором их емкость будет равной одной трети максимальной. Вращая сердечник катушек гетеродина, добиваются приема какой-либо радиостанции КВ диапазона, а вращая сердечник входных катушек,— наиболее громкого приема. Передвигая катушку *L14*, находят положение, при котором шумы минимальны. На этом налаживание приставки заканчивается.

Во втором случае настройка на радиостанции КВ диапазона будет осуществляться вращением ручки переменных конденсаторов приставки. Приемник же должен быть настроен всегда на одну и ту же частоту. Такая приставка позволяет перекрывать весь коротковолновый диапазон без переключений. Однако недостатком приставки является то, что радиолюбителю не известно, на каком поддиапазоне принимаются радиостанции.

Собранную и налаженную приставку с батареей питания помещают в коробку размером 100×45×30 мм, изготовленную из жести или латуни толщиной 0,5 мм.

АВТОМОБИЛЬНЫЙ РАДИОПРИЕМНИК

Н. КРАВЦОВ

Автомобильный радиоприемник «Континент-авто» рассчитан на прием амплитудно-модулированных сигналов радиовещательных станций, работающих в диапазонах средних 187—571,4 м (1605—525 кГц) и четырех полурастянутых коротких: 25 м (11,75—12,1 МГц), 31 м (9,45—9,8 МГц), 41 м (7,05—7,3 МГц) и 49 м (6—6,3 МГц) волн. По параметрам он превосходит выпускаемые промышленностью радиоприемники «А-370» и «А-370М» (в частности, по чувствительности, эффективности действия АРУ, избирательности по зеркальному каналу и наличию КВ диапазонов, обеспечивающих надежный прием вдали от крупных городов).

Радиоприемник может быть установлен в автомобилях «Москвич», «Жигули» и «Запорожец». Прием можно вести как на обычную телескопическую антенну, так и на полоску фольги длиной 1,1—1,2 м, приклеенную на

переднее или заднее стекло (под резиновую прокладку уплотнителя).

Чувствительность радиоприемника при выходной мощности 50 мВт и соотношении сигнал/шум 20 дБ в диапазоне СВ — не хуже 20 мкВ, в диапазонах КВ — 10 мкВ. Избирательность по соседнему каналу при расстройке на ±10 кГц — не хуже 40 дБ. Избирательность по зеркальному каналу на КВ диапазонах — не менее 20 дБ. Система АРУ обеспечивает изменение напряжения на выходе радиоприемника не более чем на 6 дБ при изменении входного сигнала на 60 дБ.

Выходная мощность усилителя НЧ радиоприемника при коэффициенте нелинейных искажений менее 5% — 2 Вт. Номинальная выходная мощность при коэффициенте нелинейных искажений менее 1% — 1 Вт. Полоса рабочих частот 50—5000 Гц.

Питается приемник от аккумуляторной батарей автомобиля. Потребляемый ток не превышает 220 мА (при максимальной громкости). Габариты приемника 140×165×44 мм, масса около 650 г.

Принципиальная схема радиоприемника показана на рис. 1. Он выполнен по схеме с двойным преобразованием частоты. Это позволило упростить коммутацию, сократить число контактов переключателя диапазонов и обеспечить при этом растянутость КВ диапазонов.

В средневолновом диапазоне радиоприемник работает как обычный супергетеродинный приемник. Сигнал с антенны через контакты переключателя *В1-1а* поступает во входную цепь радиоприемника, образованную контуром *L1C2C3*. При работе в коротковолновых диапазонах антенна подключается (через контакты переключателя *В1-1а*) ко входному контуру конвертера *L10C51* (в поддиапазонах 31, 41 и 49 м к нему подключаются дополнительные конденсаторы).

Конвертер выполнен на транзисторе *Т14*. Преобразованный сигнал с выхода конвертера через конденсатор *С54* и контакты *В1-1б* поступает во входную часть радиоприемника. Связь входных контуров диапазонов СВ и КВ с антенной емкостная, а с усилителем ВЧ — трансформаторная.

Усилитель ВЧ выполнен на транзисторе *Т1*. В коллекторную цепь транзистора *Т1* в качестве нагрузки включен резистор *R5* и корректирующий дроссель *Др1*.

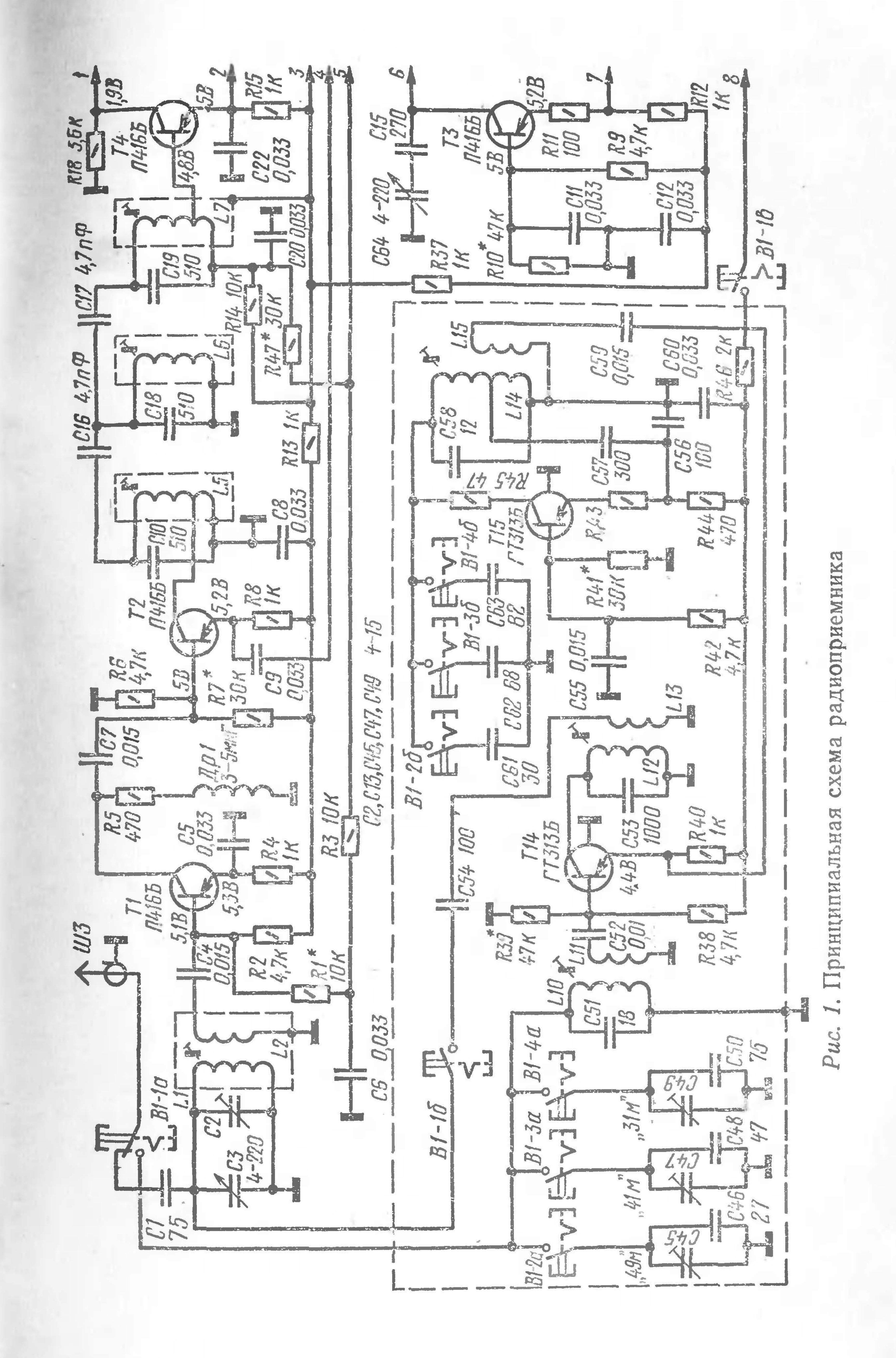
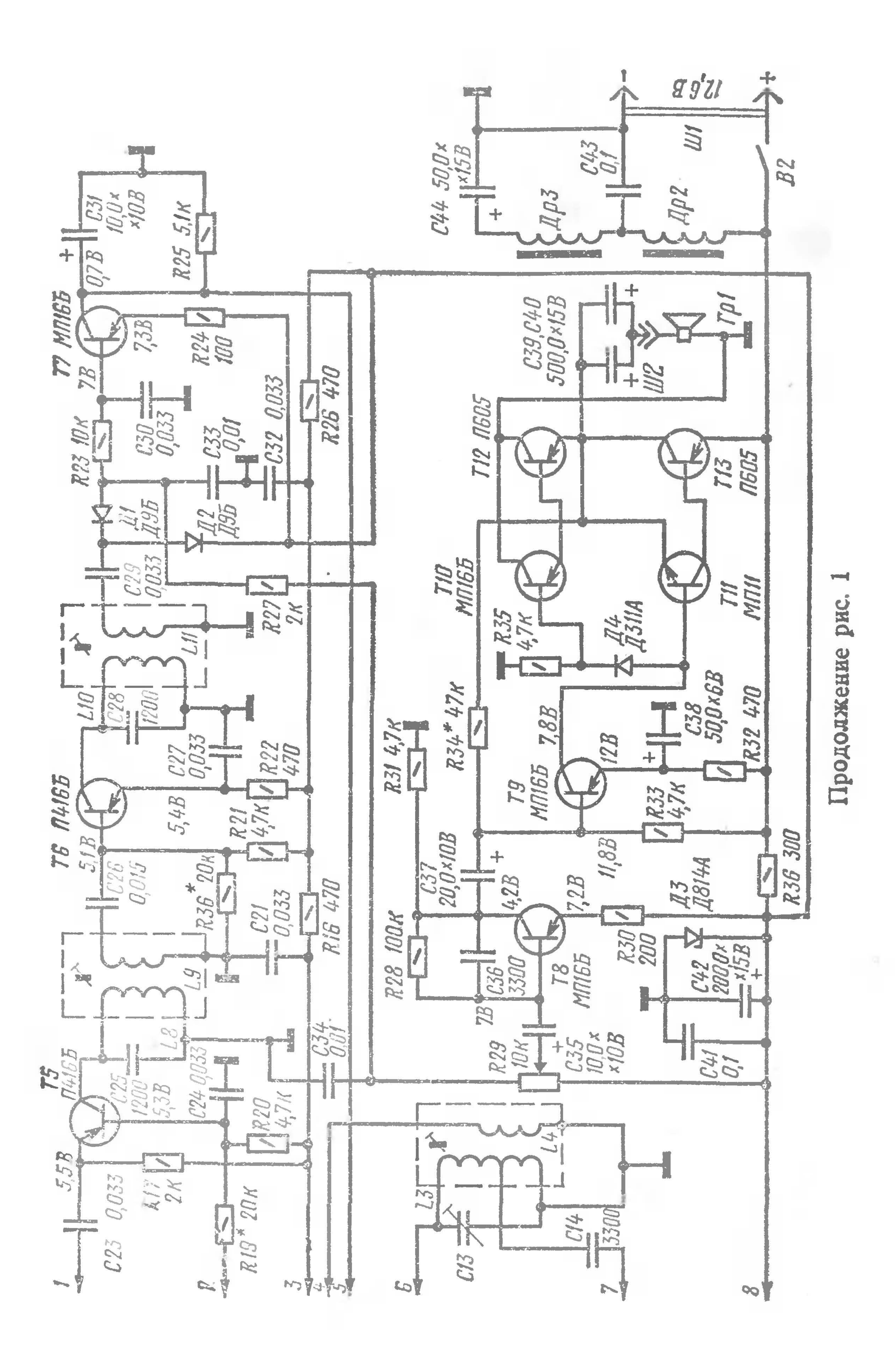


Рис. 1. Принципиальная схема радиоприемника



Продолжение рис. 1

Применение дросселя позволило получить равномерное усиление высокочастотного каскада в широком диапазоне частот.

Гетеродин СВ диапазона (второй гетеродин диапазона КВ) выполнен на транзисторе *Т3* по схеме с индуктивной обратной связью. Первый гетеродин диапазона КВ собран на транзисторе *Т15*. Напряжение с катушек *L4* и *L15* гетеродинов поступает соответственно на эмиттеры транзисторов *Т2* и *Т14* преобразователей частоты. Преобразователь СВ диапазона нагружен на фильтр сосредоточенной селекции, образованный тремя контурами *L5C10*, *L6C18* и *L7C19*, которые совместно с контуром *L8C25* определяют полосу пропускания приемника, а также избирательность по соседнему каналу.

Промежуточная частота конвертера 1±0,2 МГц, а приемника — 465±2 кГц.

Усилитель промежуточной частоты двухкаскадный. Первый каскад выполнен на транзисторах *Т4* и *Т5*, включенных по каскодной схеме, а второй — на транзисторе *Т6* собран по обычной схеме. Нагрузкой каскадов являются соответственно контуры *L8C25* и *L10C28*. Контур *L10C28* служит для согласования усилителя ПЧ с детектором. Он имеет полосу пропускания около 20—30 кГц и на избирательность радиоприемника не влияет.

Детектор собран на диодах *Д1* и *Д2* по схеме удвоения напряжения. Нагрузкой детектора является резистор *R29*, выполняющий функции регулятора громкости. Управляющее напряжение системы АРУ снимается с конденсатора *С33* и через фильтр *R23C30* подается на базу транзистора *Т7* — усилителя постоянного тока. При отсутствии сигнала транзистор *Т7* закрыт постоянным напряжением, поступающим на него через резисторы *R23*, *R27* и *R29*. Напряжение на его коллекторе равно напряжению, определяемому напряжением стабилизации стабилитрона *Д3*, и составляет около 5,5—6 В. С коллектора транзистора *Т7* это напряжение через резисторы *R3*, *R1* и *R38* подается в базовые цепи усилителя ВЧ и первого каскада ПЧ.

При появлении сигнала отрицательное напряжение, снимаемое с детектора, открывает транзистор *Т7* и напряжение на его коллекторе уменьшается. Уменьшение напряжения, подаваемого в цепи баз транзисторов *Т2* и *Т4*, снижает их коэффициент усиления. Напряжение сме-

щения на базу транзистора *T5* подается через резистор *R19* с резистора *R15*, включенного в цепь эмиттера транзистора *T4*. Такое включение позволило повысить эффективность работы системы АРУ, поскольку при подаче регулирующего напряжения на транзистор *T4* одновременно регулируется и усиление транзистора *T5*.

Усилитель НЧ четырехкаскадный. Каскады предварительного усиления выполнены на транзисторах *T8* и *T9*. Фазоинверсный каскад собран на транзисторах *T10* и *T11*, усилитель мощности — на транзисторах *T12* и *T13*. Усилитель может быть нагружен на головку 4ГД-28 или 2ГД-19.

Питание всех транзисторов, кроме *T9—T13*, производится стабилизированным напряжением.

Помехи от системы зажигания автомобиля устраняет двухзвенный фильтр, образованный дросселями *Др2, Др3* и конденсаторами *C43* и *C44*.

Детали и конструкция. В радиоприемнике использованы стандартные детали. Сдвоенный блок конденсаторов переменной емкости взят от радиоприемника «Селга». Подстроечные конденсаторы КПК-МП или КПК-МП-3, постоянные — КТ-1, КЛС, КМ, электролитические — К50-6. Переменный резистор *R29* — СПЗ-4в с выключателем питания, постоянные резисторы — МЛТ-0,25.

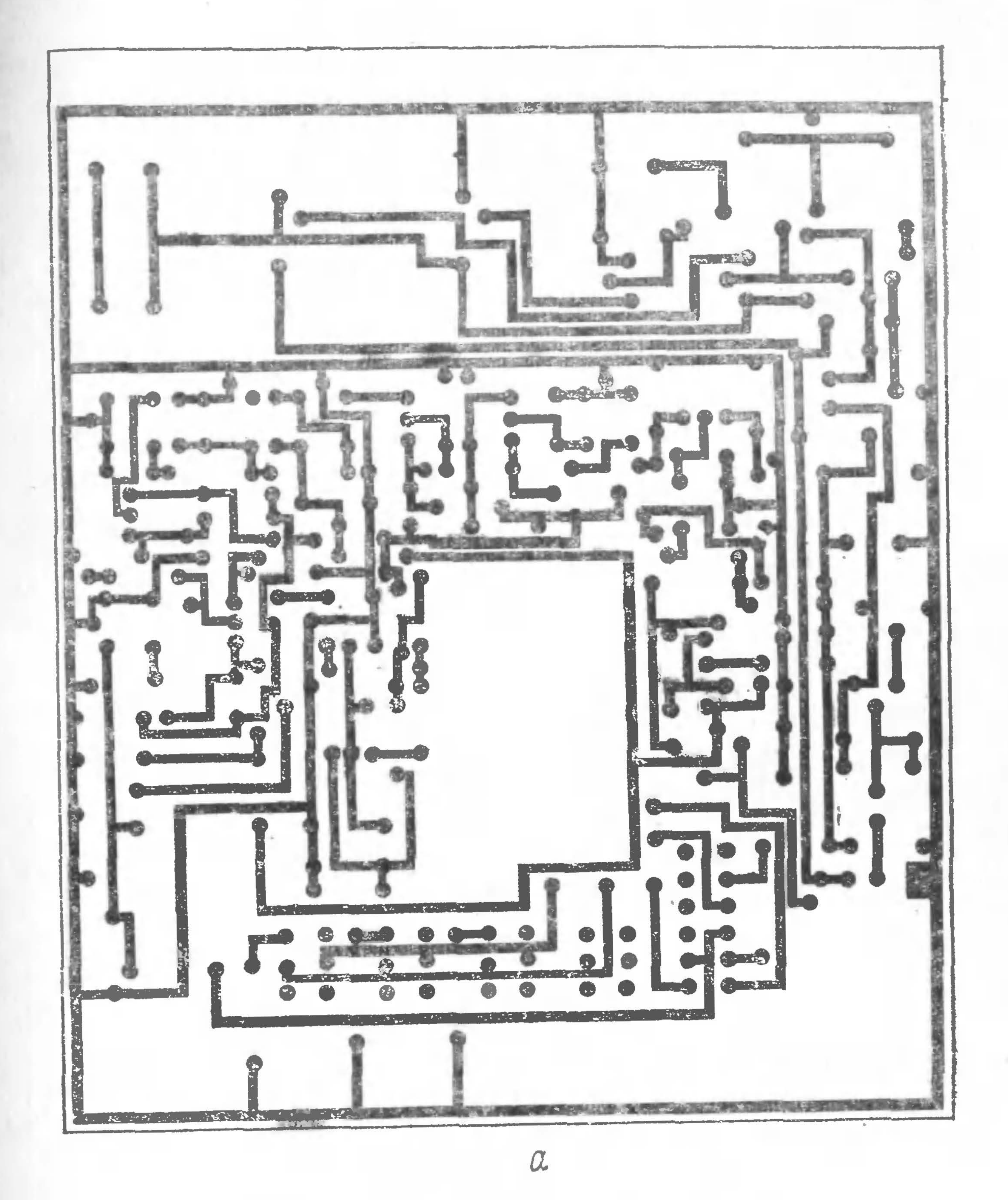
Переключатель диапазонов — кнопочный П2К. Он содержит пять кнопок с зависимой фиксацией.

Транзисторы фазоинверсного и выходного каскадов желательно подобрать попарно с разбросом основных параметров, не превышающих 10—20%.

Катушки контуров *L1 — L11* намотаны на каркасах и помещены в арматуру от контуров ПЧ приемника «Сокол». Намоточные данные контурных катушек и дросселей приведены в таблице.

Детали радиоприемника смонтированы на печатной плате (рис. 2, 3) размером 132×165 мм. Плата изготовлена из одностороннего фольгированного стеклотекстолита толщиной 1,5 мм. Ее помещают в корпус из листового алюминиевого сплава толщиной 1,5 мм.

На подшкальнике установлены две миниатюрные лампы подсвета шкалы (на напряжение 9 В), включенные последовательно. Шкалу после градуирования изготовляют фотографическим способом на пленке.



а

Рис. 2. Печатная плата приемника

Коротковолновый конвертер смонтирован на отдельной печатной плате (монтажная схема показана на рис. 4, 5). Он помещен в экран, изготовленный из латуни толщиной 0,5мм. Для получения достаточного хода указателя настройки (70 мм) при малом диаметре ведущего диска, укрепленного на оси конденсатора переменной емкости, применена ось с двумя разными диаметрами.

Транзисторы выходного каскада *T12, T13* установлены на радиаторах.

Налаживание радиоприемника начинают со средне-

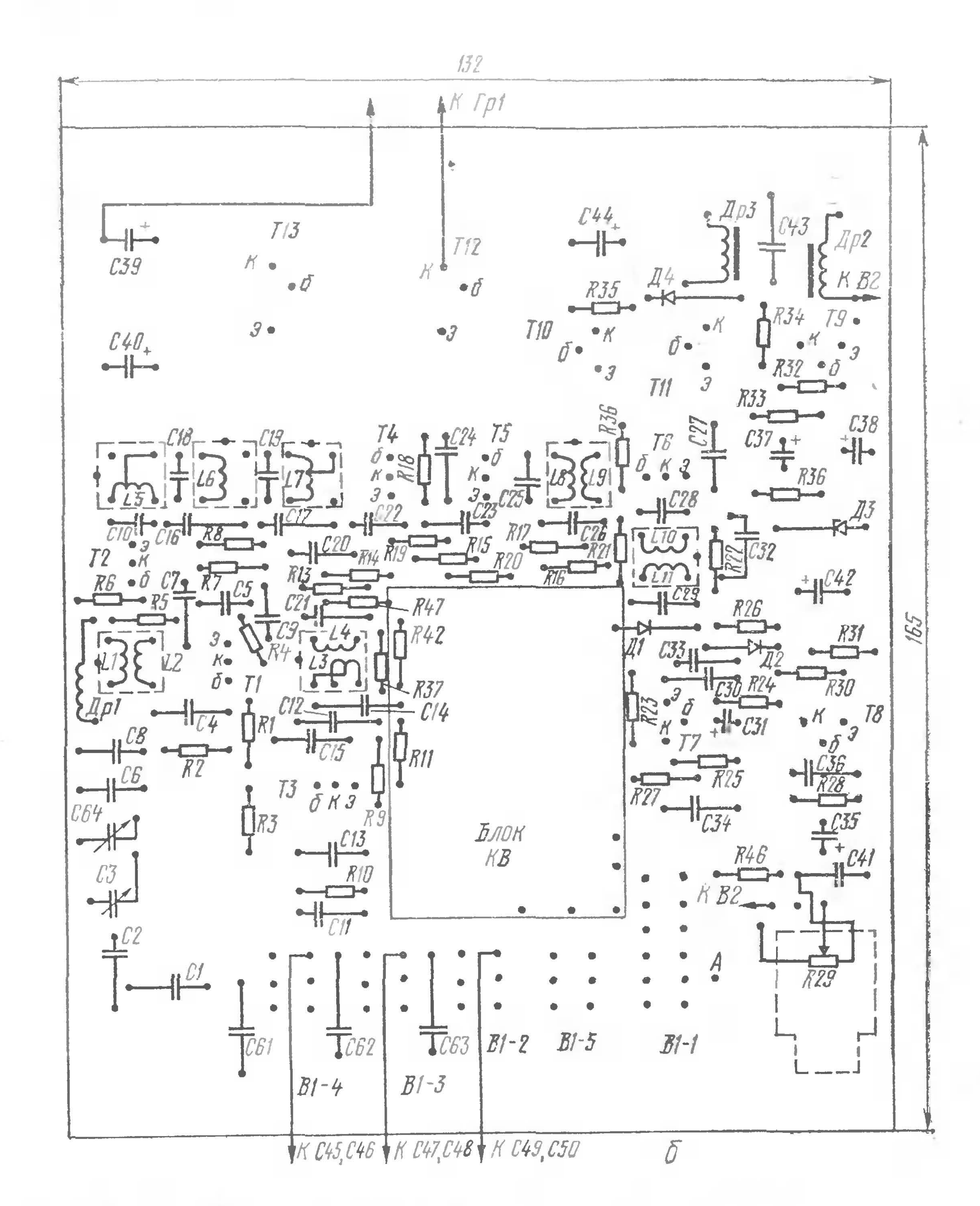


Рис. 3. Расположение деталей приемника на печатной плате

волнового диапазона, проверяя режимы работы транзисторов по постоянному току. Усилитель НЧ практически не требует налаживания. Необходимо лишь подбором резистора *R34* добиться в точке соединения эмиттера транзистора *T12* и коллектора *T13* напряжения, равного половине напряжения питания. При этом ток покоя всего усилителя НЧ не должен превышать 5—10 мА. Искажения типа «ступенька» должны отсутствовать. При на-

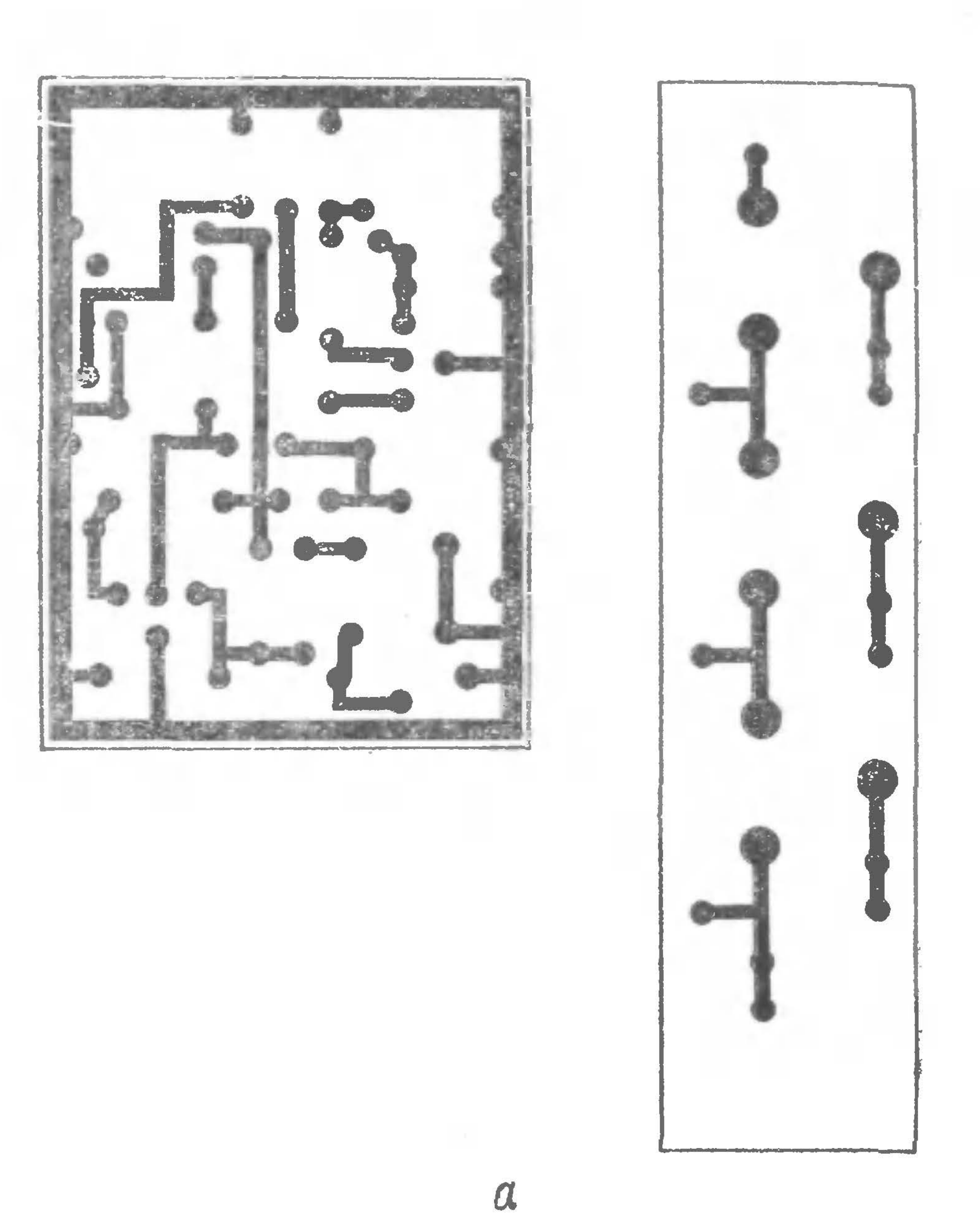


Рис. 4. Печатная плата конвертера

личии этого вида искажений следует уменьшить сопротивление резистора *R34*.

После налаживания низкочастотного усилителя переходят к налаживанию тракта ПЧ. Контуры *L8C25* и *L10C28* настраивают, подавая с генератора стандартных сигналов (ГСС-6, Г4-18) через разделительный конденсатор емкостью 0,01—0,015 мкФ напряжение промежуточной частоты. Глубина модуляции низкочастотным сигналом (1000 Гц) должна быть не менее 30%.

Чтобы избежать неправильных результатов при настройке указанных контуров, следует отключить систему АРУ. Для этого временно исключают резистор *R38*. Вместо него подключают переменный резистор сопротивлением 33—100 кОм, его включают, соединив с минусовой шиной питания. Этим резистором устанавливают режим работы по постоянному току транзисторов *T4* и *T5*.

Напряжение на выходе проверяют по измерителю вы-

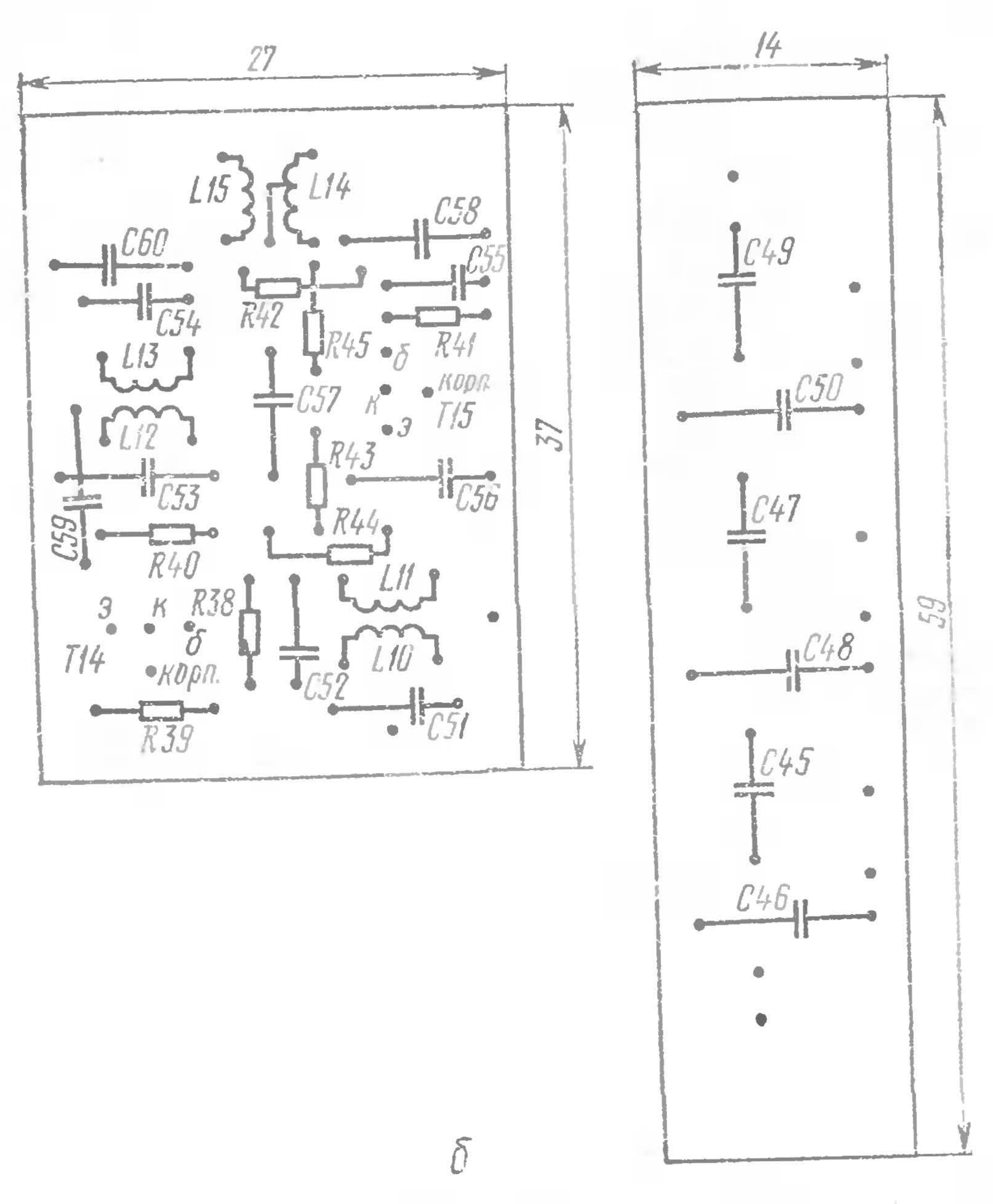


Рис. 5. Расположение деталей конвертера на печатной плате

хода (ИВ-4) или по осциллографу, подключенному параллельно резистору (вместо динамической головки), сопротивление которого равно сопротивлению динамической головки прямого излучения, используемой в приемнике (5—7 Ом).

После этого приступают к настройке контуров ФСС. Чтобы правильно настроить их, необходимо исключить влияние ненастроенных контуров на настроенные. При настройке контура *L7C19* с генератора стандартных сигналов через разделительный конденсатор емкостью 0,01—0,015 мкФ подают сигнал в точку соединения конденсаторов связи *C16, C17*. При этом контур *L6C18* должен быть зашунтирован резистором сопротивлением 1 кОм. После настройки контура *L7C19* на частоту 465 кГц шунт подключают к контуру *L5C10* и настраивают контур *L6C18*, подавая сигнал с генератора в точку соединения конденсатора *C16* с контуром *L5C10*. После этого настраивают контур *L5C10* (предварительно отсоединив от него резистор сопротивлением 1 кОм), пода-

Обозначение по схеме	Число витков	Провод	Сердечник	Индуктивность, мкГ	Каркас
L1	3×50	ПЭВ-2 0,06×3	Броневой 600НН ⌀8,6×4	400	Унифицированный трехсекционный
L2	15	ПЭВ-2 0,12	»	—	
L3	3×25 *	ПЭВ-2 0,06×3	М600НН2 СС2,8×12	180	»
L4	5	ПЭВ-2 0,12	»	—	
L5	30+70	ПЭВ-2 0,06×3	»	240	»
L6	100	»	»	240	
L7	10+90	»	»	240	»
L8	70	ПЭВ-2 0,06×3	»	120	»
L9	10	ПЭВ-2 0,12	»	—	»
L10	70	ПЭВ-2 0,08×6	»	120	«
L11	40	ПЭВ-2 0,12	»	—	»
L12	16	ПЭВ-2 0,3	М100НН—2 СС2,8×12	20	⌀5×12
L13	2	ПЭВ-2 0,12	»	—	
L14	2+12	ПЭВ-2 0,3	»	1,8	»
L15	2	ПЭВ-2 0,12	»	—	»

Продолжение

Обозначение по схеме	Число витков	Провод	Сердечник	Индуктивность, мкГ	Каркас
Др1	32	ПЭВ-2 0,12	—	5	Резистор МЛТ-0,51кОм виток к витку
Др2, Др3	150	ПЭВ-2 0,25	Броневой 1000НН ⌀14×4	—	—

* Отвод от 3-го витка

вая на базу транзистора *Т2* сигнал напряжением 2—4 мкВ.

Налаживание усилителя ВЧ сводится к получению коллекторного тока транзистора *Т1* около 1мА (при отсутствии сигнала) подбором резистора *R1*.

Правильно налаженный усилитель промежуточной частоты должен иметь чувствительность по промежуточной частоте при подаче сигнала на базу транзистора *Т1* примерно 1—2 мкВ при полосе пропускания 6—8 кГц, измеренной на уровне 6 дБ.

Высокочастотную часть радиоприемника налаживают обычными способами. Сначала проверяют работоспособность гетеродина СВ. Затем устанавливают границы диапазона и сопрягают настройку входного и гетеродинного контуров, пользуясь эквивалентом автомобильной антенны или непосредственно антенной и соединительным кабелем, которые в дальнейшем будут установлены в автомобиле.

Блок конденсаторов *С3, С64* ставят в положение максимальной емкости. На антенный вход радиоприемника с генератора стандартных сигналов подают сигнал частотой, равной нижней частоте средневолнового диапазона. Подстроечным сердечником катушки *L3* настраивают контур *L5C13C15C64*.

После этого необходимо произвести предварительную настройку входного контура *L1C2C3* (подстроечным сердечником катушки *L1*) и еще раз уточнить настройку контура гетеродина. Затем такие же операции выполняют на высокочастотном участке средневолнового диапазона, используя подстроечные конденсаторы *С13* (контура гетеродина) и *С2* (входного контура). Закончив установку границ диапазона, производят сопряжение настроек входного и гетеродинного контуров, пользуясь подстроечным сердечником катушки *L1* и конденсатором *С2*. Эти операции необходимо проделать неоднократно, так как от этого зависит чувствительность радиоприемника.

Налаживание коротковолнового конвертера можно производить как отдельно, так и в составе настроенного в диапазоне СВ радиоприемника. Сначала проверяют режимы работы транзисторов по постоянному току. Коллекторный ток транзистора *Т14* (около 0,8—1 мА) устанавливают подбором резистора *R39*, а ток транзистора *Т15* (1,2—1,5 мА) — подбором резистора *R41*.

Проверив работоспособность в наиболее высокочастотном диапазоне, следует вести налаживание в следующем порядке. На базу транзистора *Т14* через разделительный конденсатор емкостью 0,01 мкФ подают сигнал с генератора частотой 1 МГц и сердечником контура *L12C53* настраивают последний в резонанс. Индикатором выходного напряжения может быть любой ламповый вольтметр, подключенный параллельно катушке *L13*. После этого сигнал с генератора напряжением 0,2—0,5 мВ через разделительный конденсатор емкостью 100 пФ подают на контур *L10C18*. Частота этого сигнала должна соответствовать средней частоте 25-метрового диапазона, т. е. 11,9 МГц. На эту частоту контур *L14C58* настраивают подстроечным сердечником. Затем сигнал этой частоты подают в точку *1* (через разделительный конденсатор емкостью 75 пФ) и настраивают в резонанс (сердечником) контур *L10C18*. После настройки контура *L10C18* в 25-метровом диапазоне остальные диапазоны настраивают в следующей последовательности: 49 м, 41 м, 31 м. Средние частоты этих диапазонов устанавливают подбором конденсаторов *С61 — С63*. Входной контур *L10C18* настраивают в резонанс на средние частоты этих диапазонов соответственно конденсаторами *С45 — С50*.

СОДЕРЖАНИЕ

6Ф2.9
В80

В помощь радиолюбителю. Выпуск 59. М.,
В80 ДОСААФ, 1977

80 с. с ил.

На конц. пол. сост. А. И. Гусев

В сборнике приведены описания квадрафонического усилителя, электронных часов, измерительных приборов, коротковолновой приставки и автомобильного приемника. Сборник рассчитан на широкий круг радиолюбителей.

В $\frac{30402-103}{072(02)-77}$ 105—77

В помощь радиолюбителю

Выпуск 59

Составитель Александр Иванович Гусев

Редактор *Л. И. Карнозов.* Художественный редактор *Т. А. Хитрова.* Технические редакторы *З. И. Сарвина, В. Н. Кошелева.* Корректоры *Е. А. Макарова, Р. М. Рыкунина.*

ИБ № 335

Г 98448. Сдано в набор 4/V — 1977 г. Подписано в печать 14/IX. 1977 г. Изд. № 2/1270. Формат 84×108$^1/_{32}$. Бумага типографская № 2. Тираж 500 000 экз. Зак. № 7—1354. Цена 30 коп. Усл. п. л. 4,20. Уч.-изд. л. 4,061.

Ордена «Знак Почета» Издательство ДОСААФ СССР. 107066, Москва, Б-66, Новорязанская ул., д. 26.
Головное предприятие РПО «Полиграфкнига» Госкомиздата УССР, Киев, ул. Довженко, 3.